

**TESI DOCTORAL**

**ANÀLISIS TÈCNIQUES I FÍSQUES  
DEL COMPORTAMENT DE LES  
COBERTES “FRESQUES” (COOL ROOFS):  
EL CAS DE CATALUNYA.**

**ORIOL MUNTANÉ I RAICH**

**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA 2016**





**TESI DOCTORAL**

**“ANÀLISIS TÈCNIQUES I FÍSQUES  
DEL COMPORTAMENT DE LES  
COBERTES “FRESQUES” (COOL ROOFS) :  
EL CAS DE CATALUNYA.**

**ORIOL MUNTANÉ I RAICH**

**Director de la tesi: Joan Lluís Zamora Mestre**

**Programa de Doctorat de Tecnologia de l'Arquitectura, de l'Edificació i de l'Urbanisme**

**Departament de Construccions Arquitectòniques I**

**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA 2016**



## AGRAÏMENTS

Començaré explicant per que he volgut treballar sobre les cobertes. Aquestes, són unes parts de l'edifici, sovint sense gaire interès pels projectistes: no es veuen, no llueixen... gairebé ni existeixen.

Joan Rodon (1956-2009), Arquitecte, amb qui vaig tenir el plaer de treballar durant un temps, explicava una anècdota que si “si non e vero e ben trovato”; la coberta és la part de la maqueta que veu el polític, i amb la que jutja el projecte. Per tan calia projectar-la i dedicar-li tan d'esforç com a qualsevol altre part del projecte. Evidentment, ell ho feia des del punt de vista formal, jo, des del punt de vista constructiu.

Posteriorment, durant els anys de professor a la Salle (Universitat Ramon Llull), sota les directrius marcades per Joan Sabaté i Coque Claret, el col·lectiu de professors, vàrem començar a sensibilitzar-nos per termes com la demanda energètica, el consum, les emissions de CO2...

Així, al moment de planejar-me un tema per la tesi, no vaig tenir cap dubte que havia de versar sobre cobertes i relacionar aquesta part de l'edifici amb l'energia.

Qui va treure l'entrellat d'aquest binomi (coberta-energia) va ser Joan-Lluís Zamora, el meu tutor. Recordo el primer dia que em va comentar la possibilitat d'estudiar quin efecte podria produir reflexar la radiació solar incident en un sostre i com afectaria als espais immediatament inferiors. En aquest moment vaig entendre que ja tenia tema pel doctorat. Des d'aquell dia, en Joan-Lluís ha estat el meu millor aliat en tot el procés de gestació d'aquest estudi.

Durant tots els estadis del treball, han estat inestimables les ajudes prestades per Antoni Isalgué i Jaume Serrasolses. Tots dos, de manera totalment desinteressada han estat sempre disposats a ajudar-me en temes sobre els quals ells en saben molt més que jo.

Arrencar, no va ser fàcil, vaig tenir la sort d'aconseguir suport econòmic (el qual em va servir per a comprar l'instrumental de mesura –sondes i dattaloggers-) i de comptar amb la generositat de PAUS (Coque Claret i Dani Calatayud) i d'un bon nombre d'estudiants (ara ja deuen ser arquitectes) per muntar les cel·les test. Per últim esmentar, també, l'espai en coberta que m'ha facilitat la ETSAV per a dipositar les 6 cel·les.

Als meus pares... i als meus fills

## ÍNDIX

<b>CAPÍTOL 0. CONTEXTUALITZACIÓ DEL TEMA</b>	<b>15</b>
<b>0.1. DELIMITACIÓ DEL TEMA</b>	<b>15</b>
0.1.1. COBERTES PLANES	15
0.1.2. ABAST	16
0.1.2.1. EL PAPER DE LA COBERTA	16
0.1.2.2. L'EMPREMTA DE L'EDIFICACIÓ	17
0.1.3. CLIMA	19
<b>0.2. JUSTIFICACIÓ DE L'INTERÈS</b>	<b>23</b>
0.2.1. CONSTRUCCIÓ ENERGIA I CANVI CLIMÀTIC	23
0.2.2. EL FUTUR DE LA EDIFICACIÓ	26
0.2.2.1. ELS NOUS EDIFICIS	26
0.2.2.2. LA POSADA AL DIA DELS EDIFICIS EXISTENTS (REHABILITACIÓ)	28
0.2.3. CAMPANYA DE PRESA DE DADES SOBRE COBERTES DUTA A TERME DURANT L'ESTIU DE 2010	31
<b>0.3. OBJECTIUS</b>	<b>31</b>
<b>0.4. APROXIMACIÓ AL TEMA. ANTECEDENTS</b>	<b>32</b>
0.4.1. ESTRATÈGIES TRADICIONALS PER MILLORAR EL CONFORT A L'ÀREA MEDITERRÀNIA	32
0.4.1.1. VENTILACIÓ	41
0.4.1.2. OMBRES	36
0.4.1.3. REFLEXIÓ	38
0.4.2. ESTAT DE L'ART. CONEIXEMENTS PREVIS	39
0.4.2.1. EQUIPS D'INVESTIGACIÓ	40
0.4.2.2. RECERCA SOBRE COOL ROOF	44
0.4.2.3. NORMATIVES LEGISLACIÓ	46
0.4.2.4. SEGELLS I ASSOCIACIONS	57
0.4.3. INSTAL·LACIONS SIMILARS. REFERENTS PER LA CAMPANYA EXPERIMENTAL	60
0.4.4. CONEIXEMENTS INDUSTRIALS I TÈCNICS ESSENCIALS	68

0.5. METODOLOGIA	70
0.5.1. EXPERIMENTAL: TREBALL DE CAMP, CEL·LES PAUS I MÒDULS ALGECO	72
0.5.2. SIMULACIÓ NUMÈRICA	73
<b>CAPÍTOL 1. TÈCNICA. JUSTIFICACIÓ DE LES COBERTES FRESQUES</b>	<b>83</b>
1.1. CONSIDERACIONS PRÈVIES	83
1.1.1. HIPÒTESI DE QUANTIFICACIÓ	84
1.1.2. JUSTIFICACIÓ DE L'APLICABILITAT	89
1.1.3. LES NORMATIVES TÈCNIQUES, ACTUALS I PASSADES, ENFRONT LA CALOR	95
1.1.4. INTEGRACIÓ EN EL PAISATGE. REQUERIMENTS ESTÈTICS	105
1.1.5. ORDENANCES I NORMATIVES	110
1.2. RAÓ DE LES COOL ROOF	113
1.2.1. CLIMÀTICS	113
1.2.2. LES PROPIETATS FÍSQUES BÀSIQUES	116
1.2.3. TÈCNICS I CONSTRUCTIUS	121
<b>CAPÍTOL 2. APROXIMACIÓ A LES COOL ROOF</b>	<b>127</b>
2.1. SOBRE LES COBERTES	127
2.2. MATERIALS FRESCOS EXISTENTS AL MERCAT	134
2.2.1. QUALIFICACIÓ	134
2.2.2. MATERIALS D'ÀMBIT NACIONAL	135
<b>CAPÍTOL 3. EXPERIMENTAL. TREBALL DE CAMP</b>	<b>143</b>

<b>CAPÍTOL 4. CAMPANYA DE PRESA DE DADES SOBRE CEL·LES PAUS. ESTADI 1</b>	<b>149</b>
4.1. METODOLOGIA, PROGRAMACIÓ	149
4.2. DESCRIPCIÓ CEL·LES PAUS	152
4.2.1. INSTRUMENTACIÓ DE MESURA	155
4.2.2. ESTACIÓ METEOROLÒGICA	157
4.2.3. CONTROL DE LA INÈRCIA	158
4.2.4. VERIFICACIÓ DE LA IDONEÏTAT DE LES CEL·LES	159
4.3. MATERIAL DE REFERÈNCIA	160
4.4. MATERIALS TESTATS, EMPRESES COL·LABORADORES	161
4.5. ANÀLISI DE RESULTATS	164
4.5.1. COMPARATIVES ENTRE DIFERENTS MATERIALS	167
4.5.2. COMPORTAMENT AL LLARG DE L'ANY	172
4.5.3. PÈRDUA DE L'EFICIÈNCIA AL LLARG DEL TEMPS	178
 <b>CAPÍTOL 5. CAMPANYA DE PRESA DE DADES SOBRE CEL·LES PAUS. ESTADI 2</b>	 <b>193</b>
5.1. IMPACTE DE LA GEOMETRIA/ PIGMENTS EN ELS MATERIALS A TESTAR	193
5.2. ANÀLISI DE RESULTATS	197
5.2.1. PIGMENTS FREDS	197
5.2.2. MODIFICACIÓ DE LA TEXTURA I/O GEOMETRIA	210

<b>CAPÍTOL 6. EXPERIMENTAL. CAMPANYA DE PRESA DE DADES SOBRE MÒDULS "ALGECO"</b>	<b>223</b>
6.1. APLICACIÓ EN UNA OBRA REAL	223
6.2. CONSIDERACIONS PER TRIAR EL TIPUS CONSTRUCTIU	223
6.3. DESCRIPCIÓ DE L'EDIFICI SOBRE EL QUE ES DURANT A TERME LES PROVES	225
6.4. PRÈVIES	230
6.4.1. COL·LABORACIÓ	230
6.4.2. SITUACIÓ	231
6.4.3. DESCRIPCIÓ INSTAL·LACIÓ	232
6.4.4. ESTACIÓ METEOROLÒGICA	234
6.4.5. PLA DE TREBALL	235
6.5. MATERIALS D'ACABAT DE COBERTA I PROPOSTES DE MILLORA	237
6.6. EMPRESES COL·LABORADORES	239
6.7. ANÀLISIS DE RESULTATS I INTERPRETACIÓ ETAPES, HIPÒTESIS I RESULTATS	239
6.8. SIMULACIÓ NUMÈRICA	295
<b>CAPÍTOL 7. CONSIDERACIONS SOBRE LES COOL ROOF</b>	<b>307</b>
7.1. ECONÒMIQUES	307
7.2. MOVIMENTS TÈRMICS	308
7.3. RELACIÓ ENTRE L'AÏLLAMENT PER REFLEXIÓ I PER CONDUCCIÓ	312
7.3.1. COST DE L'AÏLLAMENT TÈRMIC PER REFLEXIÓ VS CONDUCCIÓ	316
7.4. CONSIDERACIONS PER A L'APLICABILITAT EN DIFERENTS MODELS DE COBERTA	317

<b>CAPÍTOL 8. BASES PER A LA IMPLEMENTACIÓ DE LES COBERTES FRESQUES</b>	<b>331</b>
8.1. OPORTUNITAT	331
8.1.1. PUNTS FORTS	332
8.1.2. OBSTACLES/IMPEDIMENTS	334
8.1.3. AVANTATGES	335
8.2. MARC GENERAL PER A L' APLICABILITAT DE LES COBERTES FRESQUES A CATALUNYA	337
8.2.1. NORMALITZACIÓ DE LES COBERTES FRESQUES	340
8.3. PAUTES DE DISSENY	342
8.4. CATÀLEG DE BONES PRÀCTIQUES	344
<b>CAPÍTOL 9. CONCLUSIONS FINALS</b>	<b>347</b>
9.1. ESTUDI CEL·LES PAUS	347
9.1.1. ESTADI 1	347
9.1.2. ESTADI 2	348
9.2. CONCLUSIONS DE L'ESTUDI FET PER ALGECO	349
9.2.1. CONCLUSIONS DELS SISTEMES PASSIUS	349
9.2.2. CONCLUSIONS DELS SISTEMES ACTIUS	350
9.2.3. CONCLUSIONS DE LES SIMULACIONS ENERGÈTIQUES	351
9.2.3.1. SIMULACIONS EN RÈGIM LLIURE	351
9.2.3.2. SIMULACIONS AMB CLIMATITZACIÓ	351



**ANNEXES:**

**0. FUTURES RECERQUES O MILLORES**

**1. SUPORTS ECONÒMICS AL PROJECTE**

**2. DIFUSIÓ DEL PROJECTE: CAMPANYES PUBLICITÀRIES I CONGRESSOS**

**3. RECONeixEMENTS I PREMIS**

**4. BIBLIOGRAFIA**

**5. COL·LABORADORS PERSONALS**

**6. ACTES DE SEGUIMENT ESPILL-ALGECO I CONVENI UPC-ALGECO**

**7. FUTURES LÍNIES D'INVESTIGACIÓ. TFM CRISTIAN**

**8. GLOSSARI**



## PREFACI

Títol de la tesi: “ANÀLISIS TÈCNIQUES I FÍSQUES DEL COMPORTAMENT DE LES COBERTES “FRESQUES” (COOL ROOFS) : EL CAS DE CATALUNYA.

### INTRODUCCIÓ CONTEXTUAL DE LA RECERCA.

Aquesta recerca ha estat feta per un arquitecte dedicat des de fa anys a la doble activitat, docent i professional. Aquesta doble mirada impregna tota aquesta recerca: es tracta d'observar per aprendre i per poder aplicar-ho a la millora de la realitat professional.

La formació de l'arquitecte és molt extensa i abasta tot aquells aspectes relacionats amb l'edificació, des dels científics, tècnics, socials, normatius i àdhuc ètics i estètics. Així, l'arquitecte ha de resoldre bé des de la relació a gran escala amb l'entorn de l'edifici projectat, fins a l'últim detall constructiu. I més enllà de les solucions pròpies de l'element construït, cal que aquest, estigui executat segons una normativa tècnica i el programa s'adapti a una normativa d'us. És doncs un procés complex –sovint caòtic- i en el que intervenen moltes variables.

Aquesta formació professional generalista ofereix una visió holística de tot allò que envolta les edificacions, sense aprofundir o ser especialista en cap detall en concret.

Així doncs, qualsevol persona que consulti aquesta tesi doctoral, hi pot trobar a faltar aprofundir en un o altre aspecte en concret. Però en canvi, el tema objecte d'estudi, s'analitza des d'una òptica més amplia, identificant tots aquells àmbits de l'edificació en que caldria regular o en els que pot influir, sense aprofundir en molts aspectes en concret.

En aquest sentit, la investigació és especialment sensible en els canvis tèrmics favorables resultat de l'aplicació de les cobertes fresques en l'edifici i les sensacions que pot provocar en els usuaris que hi habiten. Però també contempla les possibles adversitat o aspectes desfavorables; efectes com la reflexió o solucions estètiques gens comuns en el nostre entorn, i que de ben segur portarien polèmica.

La solució cool roof de la que en aquest document s'analitza el seu impacte tèrmic directe, pretén emmarcar-se en les estratègies passives de l'edificació, com un recurs més en l'arquitectura bioclimàtica cara a assolir un condicionament ambiental de l'arquitectura amb un baix consum energètic. Amb la finalitat de reduir el consum energètic i millorar el confort dels usuaris. Però per garantir que aquesta estratègia esdevingui una realitat, s'analitza quin marc l'haurà d'acompanyar i en quins aspectes la normativa actual hauria de ser modificada o adaptada.



## CAPÍTOL 0. CONTEXTUALITZACIÓ DEL TEMA

### 0.1. DELIMITACIÓ DEL TEMA

NOTA D'INICI: En aquest document es parla de cobertes fresques. Aquest és un terme relativament nou i inclou aquelles cobertes, les quals són capaces de mantenir la seva capa superficial a temperatura semblant a la temperatura de l'aire malgrat la radiació incident. Les cobertes fresques es poden assolir amb la tècnica de les cobertes inundades, les enjardinades i evidentment les cobertes amb alts índex de reflexió i emissivitat.

#### 0.1.1. COBERTES PLANES

*“Desde tiempos inmemoriales el hombre ha querido subir a los tejados”. Le Corbusier no andaba falto de razón con este enunciado, pues el anhelo por ocupar y utilizar las cubiertas es un denominador común de todas las épocas históricas, estilos y tipologías arquitectónicas.”* La cubierta habitable. Andrés Martínez, Ed Gustavo Gili, Barcelona 2005

L'estudi es basarà en actuacions sobre cobertes planes. Originàriament, les cobertes planes es construïen en les zones més assolellades del planeta, actualment, amb l'aparició i perfeccionament de nous materials en trobem a tot arreu. Les raons per tractar el tema, des de el punt de vista de les cobertes planes són bàsicament, dues:

- Que en les àrees més poblades del planeta, les ciutats, la majoria de cobertes són d'aquest tipus, i justament són aquestes zones urbanes que tenen un creixement continuat i que va en augment.
- A més a més, aquestes, tenen el mateix comportament independentment de la orientació que tinguin. La incidència solar en cobertes inclinades, dependrà del pendent i l'azimut de la coberta, en una coberta plana, la incidència solar serà sempre la mateixa.

Altres consideracions respecte les cobertes són els nous usos que han anat adquirint. Degut als nous requeriments en matèria de captació d'energia, la majoria dels edificis són rematats amb un terrat pla. En aquest espai, gran varietat d'activitats o usos s'hi han anat desplaçant: estendre roba, màquines de clima, cambres d'instal·lacions, suport de les plaques solars tèrmiques o fotovoltaïques, espai per a molins de vent...

Aquest treball, pretén aprofundir sobre un nou requeriment de les cobertes, especialment de les planes: que la seva capa més externa les faci mantenir fresques (o sigui a una temperatura propera a la de l'aire) malgrat la radiació solar incident.

## 0.1.2. ABAST

### 0.1.2.1. EL PAPER DE LA COBERTA

Serà l'abast d'aquest treball, estudiar quines conseqüències es deriven de canviar d'una coberta convencional a una de fresca i a més ens preguntem si:

- Poden ser els materials d'acabat de les cobertes prou reflectors per augmentar l'albedo global de l'edifici?
- Podem reduir l'efecte hivernacle i l'efecte illa de calor utilitzant materials amb alt grau de reflexió?
- Si els materials d'acabat de les cobertes no modifiquessin l'espectre electromagnètic emès pel sol, quina incidència podria tenir en l'escalfament global del planeta?

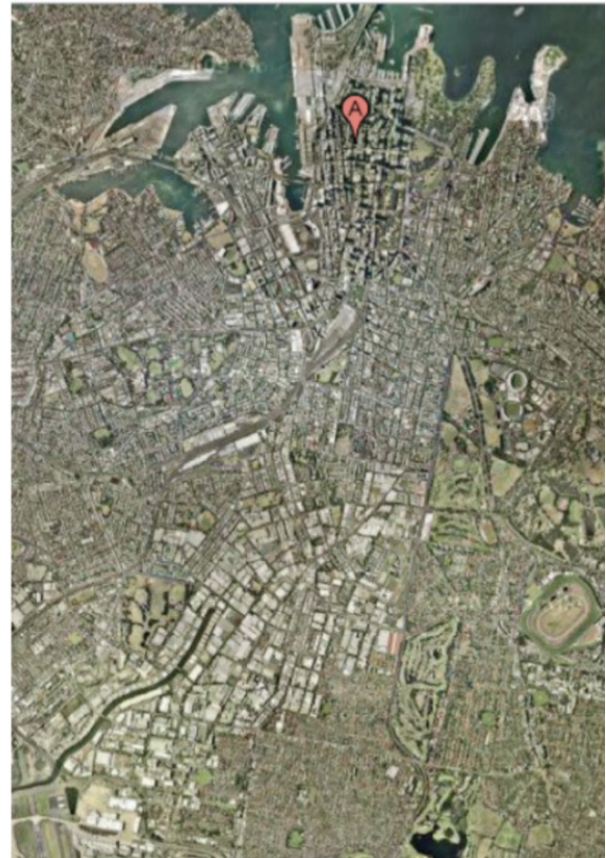
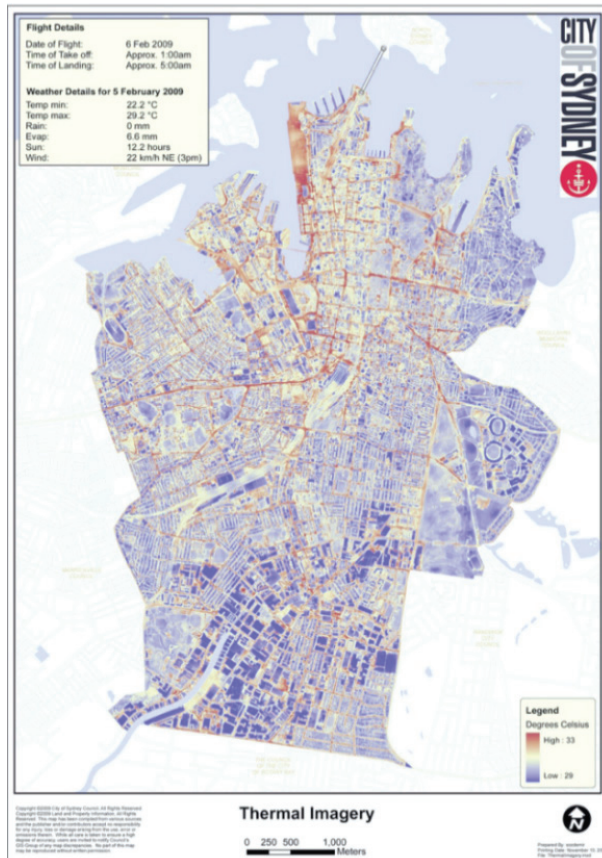
I, encara més:

- De les solucions de cobertes més usuals avui en dia, quines afavoreixen més la reflexió?
- Són aquestes solucions, aptes per a tots els requeriments que fins ara s'han anomenat?
- Quines modificacions o millores, caldria dur a terme per a transformar solucions de cobertes convencionals en cobertes fresques?
- Quins materials utilitzats normalment són més reflectors de la radiació solar?

I no tan sols això, tal i com s'anirà desgranant en l'anàlisi de la documentació teòrica, es demostrarà que la utilització de materials amb alt índex de reflexió i emissivitat afavoreixen el rendiment dels captadors solars (tèrmics o fotovoltaics), allarguen la vida útil de la coberta i milloren el rendiment de les bombes de calor. [1]

Així doncs, els materials d'acabat de coberta juguen un paper bàsic en la reflexió de la radiació solar. A partir d'ara, a més a més, de les propietats que fins a dia d'avui els hi requerim, cal afegir la reflexió i emissivitat com una característica bàsica. Cal prendre consciència que l'elecció en el material d'acabat ja no respon només a paràmetres estètics o funcionals, sinó que pot determinar el grau de reflexió que tindrà l'edifici. O dit d'una altra manera, la quantitat de radiació solar que absorbirà l'edifici sense cap altra funció que escalfar-lo.

Tal i com es veurà en punts successius, el grau de reflexió es pot assimilar a tones de CO<sub>2</sub> estalviades (en quan es requereix menys energia per produir aire condicionat), i lògicament se'n pot deduir un valor econòmic. En el futur, sobretot en la rehabilitació de cobertes, usar un tipus o altre de material, amb propietats més o menys reflectores, es podria traduir en ajudes o incentius econòmiques de diferents quantitats.



**Imatge 0.01.** Imatge termògràfica de nit i imatge de dia.

**Font:** City of Sydney, 2009 Thermal image of the City of Sydney, February 6, 2009. Photo: City of Sydney [2]

### 0.1.2.2. L'EMPREMTA DE LA EDIFICACIÓ.

Vista des del cel, el que realment determina l'edificació és la coberta. I justament és en la coberta on, s'acumulen els aparells de captació [3]. Més enllà de consideracions relacionades amb com es situen tots aquests panells, quines conseqüències poden generar i quines compatibilitats tenen amb altres usos, sobretot relacionats amb el lleure, cal constatar que la majoria d'aquests artífexs captadors són, foscos (òbviament per aconseguir captar el màxim la radiació solar). Per tant, l'albedo (el percentatge de la radiació reflectida) global de les cobertes ha disminuït molt.

Els beneficis de la implementació de les cobertes fresques són molts: reducció de la demanda energètica en els edificis, augment del confort tèrmic en els espais situats directament sota coberta, reducció de la temperatura superficial en les cobertes –veure imatge 0.01- ,reducció estrès tèrmic, reducció de les emissions associades a la demanda energètica, reducció de l'efecte hivernacle i l'efecte illa de calor...

Sovint apareixen notícies de la creixent antropomorfització de la superfície terrestre i de la disminució de l'albedo global. A tall d'exemple, s'adjunten tres notícies dels últims mesos alertaven justament d'això:

*Un informe de la ONU anticipa una inmensa expansión urbana hasta 2050: “Todos hemos oído hablar o leído acerca de la huella de carbono humana, pero ¿qué sabemos sobre nuestra huella urbana? Según un nuevo informe de las Naciones Unidas (NU), la huella urbana se extenderá 1,2 millones de kilómetros cuadrados más si no se logra cambiar los patrones de desarrollo de las ciudades.” [4]*

*“La superficie edificada en los principales países de Europa, entre los que está España, crece a un ritmo insostenible. En los últimos 20 años ha aumentado en un 20%, mientras que la población sólo ha crecido en un 6%...Grandes superficies comerciales, centros recreativos, .... La presión urbanística crece en algunos países a un ritmo que triplica el del crecimiento demográfico. ‘La edificación no es mala por sí misma, sino en la medida en que es irreversible en términos prácticos” [5]*

*“Las zonas artificiales (que incluyen zonas industriales y comerciales, zonas portuarias, aeropuertos, tejido urbano discontinuo, zonas en construcción, etc.) han aumentado 3,37 hectáreas por hora desde el año 2000 hasta el 2006”, ha señalado Luis M. Jiménez Herrero, director ejecutivo del OSE durante la presentación en la sede del Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino (MARM) [6]*

Sembla que cada cop existirà més superfície terrestre, especialment en zones urbanes, on augmentarà l'absorció de la radiació solar, i així susceptible d'escalfar-se i radiar aquesta calor a l'atmosfera, provocant l'augment de la temperatura generat pels gasos d'efecte hivernacle. L'estratègia que es defensa no reduirà el creixement urbà però si l'efecte que aquest pot arribar a produir sobre el medi global.

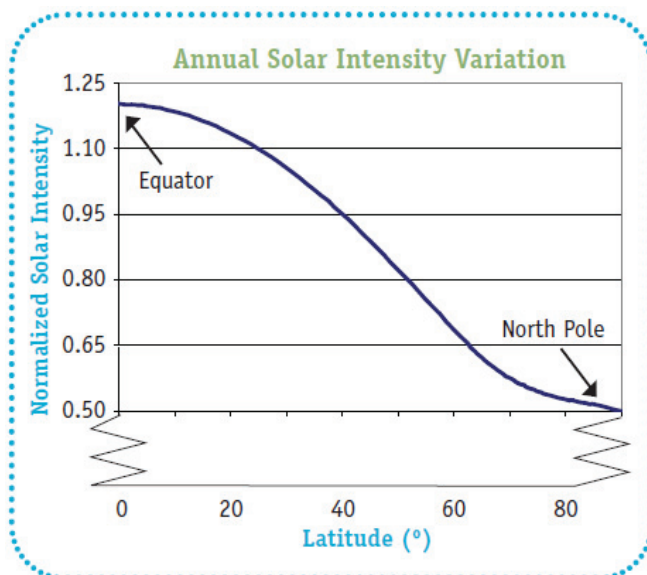


### 0.1.3. CLIMA

*“...considero esencial, que el arquitecto posea una información elaborada del clima de la localidad donde deba construir... sería un primer paso para concienciar al diseñador de la importancia que el clima tiene en el diseño global del edificio, mentalidad prácticamente inexistente en nuestros días.” (Avellaneda, 1982) [7]*

Un edifici té una localització concreta. És eminentment immòbil. Pertany a un lloc. La proposta de les cobertes fresques té molt a veure amb el clima on es construeix. És una solució vàlida sobretot per a latituds càlides, i especialment eficient si estan densament poblades (o sigui, construïdes). La localització té especial incidència en aquesta estratègia. Per emfatitzar la importància cal remarcar i clarificar dos conceptes clau:

- Primer: La distribució de la intensitat de radiació sobre la capa terrestre. Aquesta estratègia serà més eficient com més intensitat de radiació solar recaigui en la zona on s'actua. La intensitat de radiació solar és molt superior a l'equador que als pols. Veure imatge 0.02. O sigui, cal potenciar les cobertes fresques en latituds compreses entre l'equador i els 45-50°.
- Segona: L'albedo mitjà de la zona on s'actua. Així l'albedo terrestre és aproximadament de 0.3, això vol dir que reflexa aproximadament el 30% de la radiació solar. Ara bé



The average annual solar intensity varies with latitude (normalized to 90° = 0.5)

**Imatge 0.02.**

**Font:** Kaarsberg, Tina, and Hashem Akbari. "Cool Roofs Cool the Planet." Home Energy (2006): 38-41.

aquest és el percentatge global, el que no vol dir que la distribució sigui homogènia. L'albedo als pols ja es molt més alt (estan coberts de gel). En canvi la major part de la població i de les grans ciutats, es troben en l'àrea terrestre abans definida. Són zones amb grans superfícies pavimentades i ocupades per edificis. Conseqüentment l'albedo ha disminuït considerablement. I és just en aquestes zones on caldrà modificar els acabats de les superfícies construïdes, entre d'altres, les cobertes dels edificis.

En resum, les zones més densament poblades coincideixen amb les que també tenen més intensitat de radiació solar, i en les que el promig de l'albedo és més baix. Totes aquestes circumstàncies fan de la reflexió

una molt bona manera, tant de millorar les condicions tèrmiques de les construccions, com de millorar les condicions del planeta per intentar frenar les conseqüències del canvi climàtic. Ens trobem que una estratègia local pot frenar un problema global.



Imatge 0.03.

Font: <http://www.google.es/>

Ara bé, i canviant de l'escala global a l'escala local, o del macroclima al mesoclima. Cada punt del planeta té les seves particularitats. Evidentment hi ha similituds que justifiquen una distribució climàtiques, però, fins i tot en cada àrea mesoclimàtica podem trobar caracteritzacions climàtiques que fan únic aquell entorn. D'aquesta manera, cada coberta estarà sotmesa a uns requeriments especials. No sempre l'estratègia per a mantenir fresca la coberta serà la mateixa. S'hauran de tenir en compte l'asolellament, els vents dominants, els dies ennuvolats, les precipitacions... Cal citar en aquest punt, el que l'any 1983 reclamava la tesi Doctoral del Professor Jaume Avellaneda, on especificava les diferències existents entre zones en un mateix mesoclima, degudes a factors com el vent, l'alçada, la vegetació... Així expressava: “*Los efectos en los que interviene la radiación solar y el viento, son los que pueden quedar más afectados por las condiciones de entorno. Mientras aquellos en que interviene la temperatura del aire, la precipitación, la humedad y la composición atmosférica son semejantes a los del microclima local.*”

I en consonància amb l'anteriorment expressat definia la necessitat d'establir unes solucions constructives adequades a cada entorn: “*... función de dichas características climáticas puede ser previsto el comportamiento de materiales y soluciones constructivas para cada sector climático, o lo que es lo mismo, puede decirse que para cada clima existen unas soluciones constructivas y materiales que optimizan el comportamiento del cerramiento atendiendo a criterios de durabilidad y mantenimiento.*” I caldria afegir, solucions constructives adaptades al clima per optimitzar el comportament tèrmic del tancament a fi i efecte de reduir la despesa energètica derivada de l'ús de l'edifici.

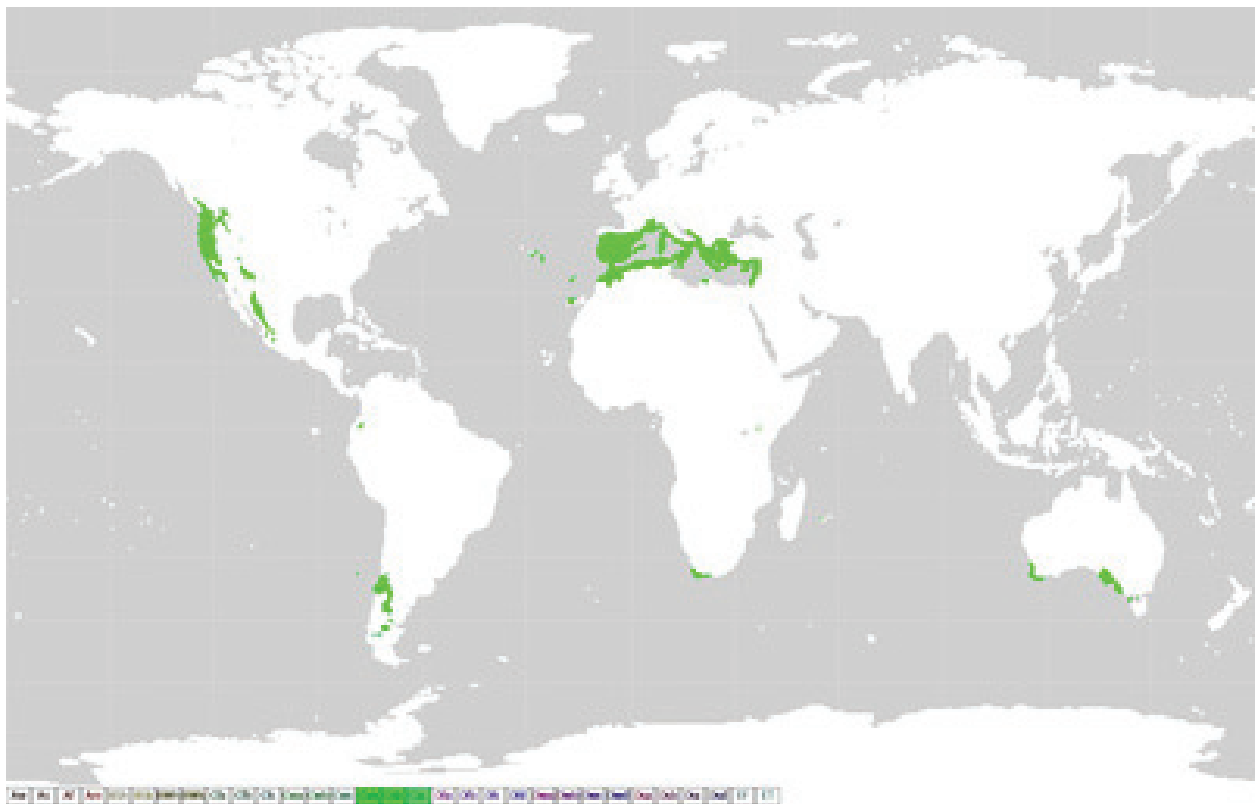
## CLIMA MEDITERRANI:

L'àrea on es desenvoluparà l'estudi, tal i com s'ha dit, és Catalunya i concretament a l'entorn de Barcelona. Catalunya i força superfície de l'estat espanyol són de clima mediterrani –veure imatge 0.04: Localització de les zones terrestres amb clima mediterrani-.

Al continent Americà i Oceania, trobem zones les quals també tenen la catalogació de clima mediterrani. Entre d'altres l'estat de Califòrnia i la zona sud d'Austràlia.

I és justament a l'estat de Califòrnia i Austràlia en que la tecnologia i divulgació per a la construcció de cobertes fresques està més desenvolupada. Concretament, a Califòrnia, ja està redactada una normativa al respecte (veure capítol 0.4.2.3 d'aquest document) . En paral·lel, també hi ha un protocol, amb la definició d'uns assajos normalitzats, per tal de classificar –segons la reflexió i emissivitat- els materials d'acabat de coberta.

Sortosament, els climes de Califòrnia i Catalunya són tots dos Mediterranis. Això significa que prenent les premisses que s'han definit per a l'estat de Califòrnia podríem arribar a esbossar unes directrius vàlides també per a Catalunya.



**Imatge 0.04.** Localització de les zones terrestres amb clima mediterrani  
**Font:** [https://es.wikipedia.org/wiki/Clima\\_mediterr%C3%A1neo](https://es.wikipedia.org/wiki/Clima_mediterr%C3%A1neo)

De totes les variables climàtiques, la que més pes té per aquest estudi és la radiació solar. Centrats específicament a l'àrea de Barcelona, s'ha realitzat aquesta taula 0.01, on defineix cromàticament quines pendents i quines orientacions respecte el sud reben més radiació solar. [8]

## TAULA DE RADIACIÓ SOLAR PER BARCELONA (TAULA 0.01)

Radiació solar (potència per unitat de superfície -MJ/m<sup>2</sup>-) global sobre superfícies amb inclinació entre 0 i 90 ° i azimuth entre -90/0/90. Estació: Barcelona.

En la taula s'han colorejat els valors obtinguts del verd (amb menor radiació solar) i vermell (major radiació solar). De forma molt gràfica es pot observar que entre els azimuths -30° i 30° i inclinacions compreses entre 5° i 40° són els plans que reben major radiació solar al llarg de l'any. Seran, les cobertes amb aquestes inclinacions i orientacions aquelles amb major potencial per millorar si les convertíssim en cobertes fresques.

		orientació: azimuth						
		-90°	-60°	-30°	0°	30°	60°	90°
pendent de la coberta	0°	5489,60	5489,60	5489,60	5489,60	5489,60	5489,60	5489,60
	5°	5493,25	5613,70	5701,30	5734,15	5701,30	5613,70	5493,25
	10°	5475,00	5715,90	5883,80	5945,85	5883,80	5715,90	5475,00
	15°	5442,15	5796,20	6040,75	6124,70	6040,75	5796,20	5442,15
	20°	5394,70	5847,30	6161,20	6267,05	6161,20	5847,30	5394,70
	25°	5332,65	5876,50	6245,15	6372,90	6245,15	5876,50	5332,65
	30°	5252,35	5876,50	6296,25	6442,25	6296,25	5876,50	5252,35
	35°	5164,75	5854,60	6314,50	6471,45	6314,50	5854,60	5164,75
	40°	5058,90	5807,15	6296,25	6464,15	6296,25	5807,15	5058,90
	45°	4945,75	5730,50	6237,85	6416,70	6237,85	5730,50	4945,75
	50°	4818,00	5631,95	6146,60	6325,45	6146,60	5631,95	4818,00
	55°	4679,30	5511,50	6029,80	6197,70	6029,80	5511,50	4679,30
	60°	4536,95	5361,85	5876,50	6033,45	5876,50	5361,85	4536,95
	65°	4376,35	5183,00	5690,35	5840,00	5690,35	5183,00	4376,35
	70°	4212,10	5000,50	5475,00	5613,70	5475,00	5000,50	4212,10
	75°	4040,55	4799,75	5234,10	5354,55	5234,10	4799,75	4040,55
	80°	3850,75	4569,80	4967,65	5062,55	4967,65	4569,80	3850,75
	85°	3675,55	4336,20	4679,30	4745,00	4679,30	4336,20	3675,55
	90°	3493,05	4091,65	4372,70	4409,20	4372,70	4091,65	3493,05

**Taula 0.01.** Dades de ATLES DE RADIACIÓ SOLAR A CATALUNYA. GENERALITAT DE CATALUNYA

Departament d'Indústria Comerç i Turisme Institut Català d'Energia.

Font: OMR

## 0.2. JUSTIFICACIÓ DE L'INTERÈS

### 0.2.1. CONSTRUCCIÓ, ENERGIA I CANVI CLIMÀTIC

Els habitatges on vivim, els edificis on treballem, els hospitals, escoles, residències, són a l'actualitat uns dels majors consumidors d'energia i, per tant, uns dels contribuents més importants a l'escalfament global, o sigui al canvi climàtic.

Els percentatges, per tots acceptats i definits en diverses fonts, atribueixen als edificis el 40% de tota l'energia usada i ser els causants del 36% dels gasos d'efecte hivernacle. [9]

Les actuals directrius europees tendeixen a reduir dràsticament el consum d'energia en els edificis. En aquest sentit, es citen un parell d'acords per exemplificar la política d'estalvi energètic de la EU.

- Primer: A partir del 2018 tots els edificis públics hauran de ser de consum gairebé nul (NZE), i a partir del 2020 tots els edificis de residencials, d'oficines i serveis. [10]
- Segon: l'acord anomenat the Action Plan on Energy Efficiency in Europe-saving 20% by 2020 [11] el qual, prenent com a referència les dades del 1990 ens convida a:
  - reduir un 20% les emissions de CO<sub>2</sub>,
  - reduir un 20% el consum d'energia i ,
  - augmentar un 20% l'ús de les energies renovables.

Actualment, la UE ja està treballant en un projecte amb l'horitzó posat en el 2030, amb uns percentatges de reducció notablement més ambiciosos. [12]

A nivell espanyol i per a un futur immediat hi ha el *Plan de Acción 2008-2012 de la Estrategia de ahorro y Eficiencia Energética en España (E4+)* [13] i el *Plan de medidas urgentes de la Estrategia Española de Cambio Climático y Energía Limpia (EECCCEL)* [14], els quals actuen sobre el sector de l'edificació de cara a reduir les emissions per intentar arribar als compromisos definits en el Protocol de Kyoto.

Ens trobem davant el repte de transformar la relació energètica entre edificis i medi. El potencial dels edificis per a estalviar i generar energia a partir de fonts renovables és altíssim. Però a més a més és necessari per frenar l'escalfament global.

L'informe RESEARCH PRIORITIES FOR THE DEFINITION OF A MULTI-ANNUAL ROAD-MAP AND LONGER TERM STRATEGY, xifra en 48,9 milions els treballadors de la EU que depenen directe o indirectament del sector de la construcció (Communication from the Commission “The Competitiveness of the Construction Industry”, COM(97) 539 of 4/11/1997, chapter 2)).

És el sector econòmic amb més pes dins la Comunitat Europea dels 27, els quals entre construcció i rehabilitació mouen la suma aproximada de 1.519 billons €.(Euroconstruct 2007). Calen estratègies de canvi. Polítiques favorables que generin noves oportunitats, que propiciïn desenvolupament tecnològic, el que impulsarà nous productes i sistemes i, consegüentment, la creació de nous llocs de treball.

Com veiem, són estratègies que es mouen en direccions paral·leles i una retro alimenta a l'altre: per un costat l'eficiència energètica de l'edificació i per l'altre la creació de personal especialitzat capaç de donar resposta a aquests reptes energètics de les construccions. Mentre l'estratègia ambiental estalviarà energia, la social serà l'encarregada d'engegar tot una nova bossa de perfils professionals que farà revifar les borses de treball.

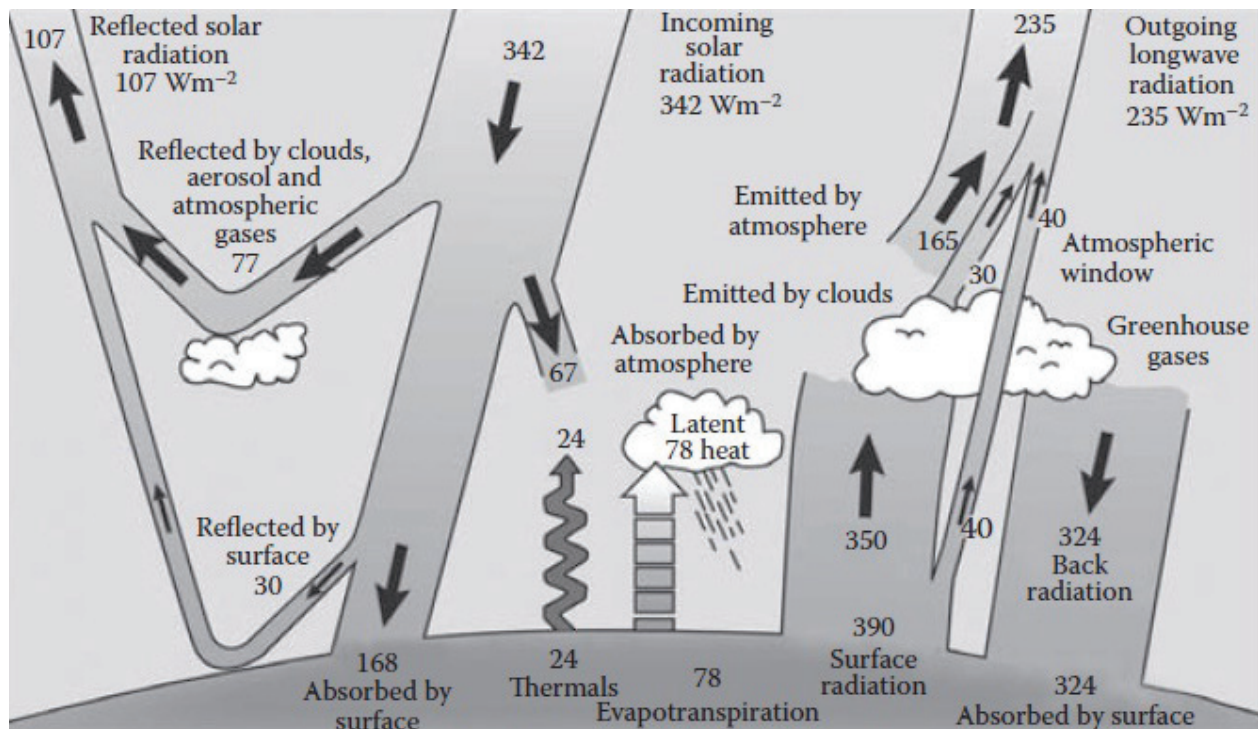
Ara bé, no perdem de vista que la finalitat última és frenar l'escalfament global del planeta. El consum d'energia genera gasos d'efecte hivernacle, aquests actuen en forma de vel i dificulten la dissipació de calor generat per la radiació solar incident sobre els cossos terrestres.

Hi ha però, un altre enfocament complementari: es tracta de frenar l'efecte hivernacle actuant sobre els altres pilars físics del problema. Analitzem les causes que generen l'augment de la temperatura a la terra.

La radiació solar a l'incidir sobre la superfície terrestre pot: (Imatge 0.05):

1. Ser reflectit (en la mateixa longitud d'ona incident), depenent de les característiques físiques de la superfície.
2. Ser absorbit per éssers vius (animals o vegetals) el que activa processos fotoquímics que els alimenta i desenvolupa.
3. Ser radiat en forma de calor, amb longitud d'ona llarga la qual, degut als gasos d'efecte hivernacle, una part serà radiada altre cop cap a la superfície terrestre, provocant l'augment de la temperatura, és a dir, el conegut “efecte hivernacle”.





**Imatge 0.05.**

**Font:** Kiehl, J.T. & Trenberth, K.E. 1997, 'Earth's annual global mean energy budget, Bull. Am. Meteorol. Soc. 78,' American Meteorological Society. Pages 197–208. Akbari, H., Menon, S. & Rosenfeld, A. 2009, 'Global cooling: increasing world-wide urban albedos to offset  $\text{CO}_2$ ,' Climatic Change 94 (3): 275–286.

L'estudi es basarà en el punt 1, o sigui quines eines i beneficis obtenim per reflectir la radiació solar. El punt 0.3 Objectius desgrana tots aquells aspectes que es pretenen estudiar.

Per altre costat l'estudi es centrarà a l'àrea de Barcelona, però els resultats fàcilment es podrien extrapol·lar a les zones geogràfiques, amb latitud pròxima als  $40\text{--}45^\circ$  (àrea que engloba la Península Ibèrica), o a climes mediterranis [15], amb estius i hiverns moderats. Òbviament, també seran vàlids per climes més càlids. I malgrat això, hi ha estudis que demostren l'efectivitat de les cobertes fresques en climes més septentrional [16] [17]

L'estudi es limita a aquest àrea, per 3 raons:

- Per ser l'àrea on visc i en soc originari.
- Per les condicions canviants entres les èpoques d'hivern i estiu, la qual a priori no justifica l'ús de cobertes fresques de forma indiscriminada. Zinzi (2010) no identifica Barcelona com una zona on les cobertes fresques tinguin un funcionament especialment eficient. Caldrà determinar doncs, si en cicles anuals o bé dia i nit, el balanç general del comportament tèrmic, generarà guanys o pèrdues energètiques per a la climatització

- En climes molt més septentrionals i freds o bé meridionals i més càlids, sembla que la conclusió és més evident. (tot i així, caldria fer-ne comprovacions per descartar o no les estratègies)

Aquest estudi també pot interessar a zones amb climes continentals de latituds semblants a la nostra, amb dies estiuencs molt assolellats i nits més fresques. Una bona manera de contrarestar l'efecte solar diürn seria reflectint aquesta radiació de manera que no augmenti la temperatura a l'interior. Per tant serà d'interès per totes aquelles zones amb forta càrrega solar, on la despesa energètica en la generació de fred és important. [18]

Però és sobretot un estudi destinat a conscienciar a tècnics legisladors i projectistes sobre una estratègia tèrmica, la qual ha caigut en desús, i que tal i com es veurà en el treball segueix essent tan vàlida, eficient i eficaç com quan era aplicada segles enrere.

## **0.2.2. EL FUTUR DE L'EDIFICACIÓ**

### **0.2.2.1. ELS NOUS EDIFICIS**

Els nous edificis, més enllà de l'ús pel qual han estat construïts, hauran de respondre a una nova exigència: l'energia necessària per al seu ús haurà de provenir de recursos renovables. És més, podem canviar diametralment fins a construir edificis generadors i productors d'energia, i no només edificis consumidors.

La pell de l'edifici haurà de comportar-se com a administrador d'energia i haurà de relacionar-se amb l'entorn de forma intel·ligent de manera que l'intercanvi generi confort a l'interior de l'edifici sense empitjorar, ni modificar substancialment, l'ambient exterior.

El rendiment energètic del edificis haurà de millorar molt. Això implica dos sistemes bàsics:

- La dermis: millorar el grau d'aïllament tèrmic (tant de les parts massisses com de les obertures), així com materials amb característiques estratègiques que afavoreixin el comportament programat per l'edifici.
- Comptar amb un sistema d'instal·lacions molt eficients.

Les tecnologies fins ara usades es basen, sobretot, en captar la radiació solar (plaques solars, tèrmiques i fotovoltaïques) i transformar-la en energia. En aquest sentit, estem dotant als edificis de grans superfícies captadores de radiació i, per tant, generadors de calor. Procés necessari per al seu funcionament, però amb efecte contrari del que realment ens interessaria aconseguir en ciutats/àrees on l'illa de calor urbana sigui un problema considerable, ja que augmentaria les temperatures de les cobertes i per tant també d'aquestes àrees.



De les parts de l'edifici, el parament més exposat a la radiació solar (sobretot a la nostra latitud) és la coberta. Així, és en aquest punt on s'estan posicionant tot aquests nous aparells de captació indispensables per al funcionament de l'edifici.

A les cobertes, estem disminuint molt l'albedo, ja que cada vegada tenim més superfície ocupada per captadors de llum. Caldria doncs dotar la resta de superfície de coberta de materials amb alt índex de reflexió, d'aquesta forma s'equilibraria l'albedo.

### **LA COBERTA INTEGRAL:**

Com s'ha apuntat, la coberta es perfila com una de les cares de l'edifici que més pes tindrà en la gestió energètica (solar i eòlica) i la captació d'aigua per al funcionament de l'edifici.

Ja s'han anat mencionant algunes de les funcions que haurà de complir la coberta en el futur. Cal però anomenar-les totes per a poder fer-se una imatge de com podria ser el remat de l'edifici. Els requeriments de les noves cobertes són:

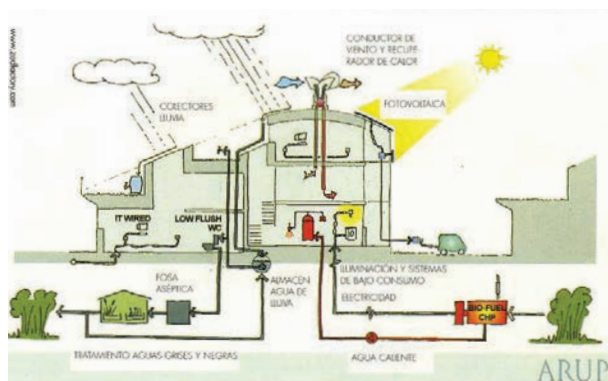
- Requeriments bàsics: protecció a l'aigua (pluja i neu), protecció a agents energètics (canvis de temperatura, aïllament tèrmic, radiació solar, protecció al soroll...).
- Requeriments de captació de recursos
  - energia solar (tèrmica i fotovoltaica)
  - energia eòlica
  - captació d'aigua
  - il·luminació dels espais interiors
  - captació i extracció d'aire i bafs: xemeneies, ventilació
- Requeriments de programa. Espai d'oci
- Requeriments amb l'entorn. Amb el medi ambient i amb els espais inferiors:
- Evitar sobreescalfament dels materials d'acabat i intentar reflexar, el màxim de l'espectre electromagnètic, amb la mateixa freqüència.
- Recuperació del terreny ocupat per l'edifici, en forma de coberta enjardinada.

En aquest sentit, un bon exemple de coberta és el projectat per l'equip de Bill Dunser [19] al barri ZED. dels voltants de Londres (imatge 0.06). Aquesta coberta aconsegueix solucionar bona part del requeriments a dalt esmentats



Imatge 0.06.

Font: <http://www.zedfactory.com/zed/>



No es pot acabar aquest punt sense mencionar un requeriment que molt probablement en un futur proper començarem a parlar. Ens referim a cobertes dissipadores de calor; cobertes que per la seva naturalesa podran, durant la nit, dissipar l'escalfor no tan sols de la coberta, sinó de tot l'edifici, a base de radiar-la cap a l'espai gràcies a materials molt especialitzats capaços de radiar a longituds d'ona entre 8 i 13 micròmetres, on l'atmosfera és més transparent. [20] [21]

#### 0.2.2.2. LA POSADA AL DIA DELS EDIFICIS EXISTENTS (REHABILITACIÓ)

Exactament el mateix raonament podem aplicar sobre el parc d'edificis existents, la gran majoria dels quals són molt més ineficients del que hauran de ser en el futur.

Si volem acostar-nos als acords energètics europeus, caldrà dur a terme renovacions generalitzades en el parc d'edificis d'aquesta àrea, especialment en els sistemes de tancaments i instal·lacions [22]. Dins dels tancaments, en aquest document ens centrarem únicament en les cobertes.

Per a fer-nos una idea de l'envergadura del que estem tractant, s'ha fet el següent supòsit (prendrem només els metres quadrats construïts en els edificis d'habitatges i serveis, no de naus industrials ni construccions agrícoles):

Cal fer una càlcul estimat de la superfície de coberta construïda a Espanya (a partir de la superfície construïda total) i quants edificis s'hauran de rehabilitar per a complir amb la disposició europea del 2020. Evidentment, no totes les cobertes estan en el mateix estat, ni requeriran del mateix grau d'intervenció.

La superfície d'habitatges fins a l'any 2005 era de 2.266 E6 m<sup>2</sup> [23]. Veure taula inferior:

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Domèstic	1457195	1490180	1524940	1558316	1593256	1634773	1673709	1717855	1771771	1832589	1900000	1960382	2022699	2094995	2177535	2266587
Serveis	250921	255327	259056	262678	265580	268992	271693	274898	278685	283499	289000	295406	301350	308197	314315	320671
Total	1708117	1745507	1783996	1820994	1858836	1903764	1945402	1992753	2050455	2116088	2189000	2255788	2324049	2403192	2491847	2587258

Aquesta taula és resum del que especifica el Documento del Sector de la Edificación de la E4 se especifica la superfície del parc existent del sector domèstic i del sector terciari l'any 2001. A partir d'aquesta informació i amb les dades de llicències d'obra del Ministeri de Foment, s'obtenen la superfícies d'edificis existent per a cada any entre el 1990 i 2005.

Si contem que cada bloc d'habitatges té entre dues o tres plantes:

$$2.266 \text{ E6} / 2 = 1.133 \text{ E6 m}^2, \text{ de coberta}$$

Prenent el supòsit de les tres plantes:

$$2.266 \text{ E6} / 3 = 755 \text{ E6 m}^2, \text{ de coberta}$$

$$\text{m}^2 \text{ de coberta} / 10 = \text{m}^2 \text{ de coberta/any que s'haurien de rehabilitar per assolir 20-20-20:}$$

$$755 \text{ E6} / 10 = 755 \text{ E5 m}^2, \text{ de coberta}^1.$$

És possible que a Espanya es puguin rehabilitar 75.500.000 m<sup>2</sup> de coberta a l'any, si els anys de més dinamisme constructiu s'arriben a construir 90.000 m<sup>2</sup>?

Tant si es pogués arribar a una xifra o una altra, i prenent aquesta hipòtesi amb la deguda prudència, és evident que en l'àmbit de la rehabilitació i especialment en les cobertes hi ha un gran mercat.

Però no tan sols això, la coberta és la cara de l'edifici més exposada als canvis de temperatura i a la radiació solar. I per si no fos poc, per la seva condició de pla "horitzontal" és on més incideix l'aigua. Podem dir que és el tancament més sol·licitat. Per acabar de justificar, un parell de dades:

- Els canvis de temperatura, amb oscil·lacions que poden arribar a més de 35°C entre el dia i la nit, i que durant l'any poden arribar a assolir diferències entre hivern-estiu de més de 80°C.

<sup>1</sup> Aquest càlcul es va fer el 2010.

- La radiació solar: “A Catalunya, la mitjana anual de radiació solar diària disponible es situa al voltant dels 4 kWh/m<sup>2</sup> (14,5 MJ/m<sup>2</sup>) sense que hi hagi diferències significatives entre aquests valors arreu del territori. Malgrat això, es produeixen diferències importants en els nivells de radiació diària mitjana rebuda, segons l'època de l'any i la zona estudiada. Així, els valors de la zona de Lleida presenten una gran amplitud anual d'oscil·lació, passant dels 4,5 MJ/m<sup>2</sup> (1,25 kWh/m<sup>2</sup>) el mes de gener als 25 MJ/m<sup>2</sup> (7 kWh/m<sup>2</sup>) el mes de juny, donant els màxims i mínims absoluts de l'any a Catalunya” [24]

Així doncs, degut a patologies lligades a les sol·licitacions que s'han anomenat, és la part de l'edifici que més intervencions de manteniment requereix al llarg de la vida útil.

És clar doncs, que tard o d'hora, tota coberta ha de ser reparada. Aquest fet ens permetrà dur a terme obres que, més enllà de la substitució dels elements malmesos, han de modificar la coberta principalment en tres sentits:

1. Per adaptar la coberta com a pla de suport de les noves instal·lacions per a captació d'energia i/o aigua.
2. Per a millorar-ne el comportament higrotèrmic i la eficiència energètica de l'edifici.
3. Fer que el pla d'acabat de la coberta, per les característiques físiques dels materials reflecteixi més quantitat de radiació solar amb la mateixa longitud d'ona, evitant que es converteixi en calor i augmenti la temperatura de la coberta.

A més a més, i fent referència al punt núm. 3, aquesta mesura complementa les normatives tècniques existents actualment [25], ja que en aquestes, en cap moment es contempla de forma explícita mesures d'estalvi energètic per excés de radiació solar referit a tancaments opacs. Veure el punt 0.4.2.3 Normatives i legislació.

Ara bé, per tal que aquest pla de coberta tingui garanties de ser una coberta fresca, caldrà una caracterització dels materials i conscienciació dels projectistes.

Els materials de construcció cada vegada els hi hem d'exigir més requeriments, de cara a millorar l'eficiència energètica de l'edifici, i per no perjudicar el medi ambient. Cal definir acuradament les propietats de cada element de forma que puguem escollir sempre el material més adient per a la funció de les sol·licitacions.

Fins ara la reflexió era una propietat que, pràcticament, només es tenia en compte per a materials de lluminàries. Ara, en canvi, s'està demostrant el seu potencial en el revestiment de cobertes.

Cal doncs una anàlisi profunda de les solucions de cobertes que actualment existeixen, per determinar, quines són més beneficioses en aquest sentit [26]. Igualment interessant seria l'estudi de les solucions tradicionals de cobertes en les construccions autòctones de cada zona i analitzar com es comporten en la reflexió de la radiació solar i la emissivitat dels materials amb que es construeixen.

### 0.2.3. CAMPANYA DE PRESA DE DADES SOBRE COBERTES

Com a primer apropament al tema, durant l'estiu del 2010, es va realitzar un senzill treball (veure capítol 3) per tal de prendre consciència de la incidència que podia arribar a tenir la reflexió en les cobertes. Dels resultats obtinguts se'n derivaren bona part de les hipòtesis de treball que s'han analitzat en aquesta tesi doctoral.

Potser el més interessant de les conclusions extretes d'aquesta feina, fou l'abisme que hi pot arribar a haver entre la realitat i les suposicions que podem fer del comportament dels materials. Es prengué doncs la determinació que l'estudi s'havia de fonamentar amb resultats obtinguts de mostres de materials de cobertes sotmesos a condicions climàtiques reals.

Aquest punt d'inflexió decantà aquesta tesi cap al treball de camp i allunyar-se del pla teòric. Evidentment totes les tasques són complementàries, ara bé, durant la realització d'aquestes preses de dades es constatà la complexitat que suposa sotmetre els materials a condicions reals així com la gairebé infinites variables a que es veuen afectats.

## 0.3. OBJECTIUS

L'objectiu principal d'aquesta recerca és demostrar que les cobertes fresques són una bona solució per al clima mediterrani, i més concretament a Catalunya, amb unes condicions de radiació global diària mitjana compresa entre màximes al mes juny de 26 MJ/m<sup>2</sup> i mínimes al gener de 9 MJ/m<sup>2</sup>. Barcelona, on es centrarà l'estudi, compleix amb aquests requeriments.

La demostració, tal i com es justifica en el punt anterior, pretén argumentar-se des de les dades obtingudes empíricament, sotmetent els materials a condicions atmosfèriques reals, i quantificant numèricament les possibles millores.

El treball pretén mostrar les virtuts de les cobertes fresques principalment en dos sentits:

- En l'eficiència tèrmica. O sigui l'aplicació d'una coberta fresca en una edificació redueix la demanda energètica.
- I en la millora del confort tèrmic per a les persones que habiten en l'espai situat immediatament a sota.

Evidentment, aquestes solucions no estaran exemptes d'obstacles i impediments per a la seva implementació. L'estudi doncs es proposa com a recerca d'arguments per avaluar objectivament aquests aspectes que van en contra la implementació i rebatre'ls amb deduccions derivades tan de l'estudi teòric, com de les deduccions empíriques de les solucions provades en situacions reals.

Així doncs la investigació estarà dividida en un primer estudi teòric de les cobertes fresques i un segon on, tot allò après en la teoria, es portarà a la pràctica avaluant materials sotmesos a les accions meteorològiques.

Aquestes dues besants, teòrica i pràctica, oferiran un coneixement que permetrà establir quins mecanismes i documents caldria generar, per tal d'acabar definint un marc propens per a fer de les cobertes fresques una solució usual a Barcelona.

Per últim, l'experiència d'haver tinguts materials sotmesos a condicions reals durant llargs períodes de temps, permetrà generar un catàleg de bones pràctiques, així com definir en quin tipus d'edificis (segons el programa o la naturalesa material de la seva construcció) s'haurien de començar a implementar, per a garantir l'èxit de les cobertes fresques.

Els objectius d'aquest treball són:

- Provar i quantificar empíricament la viabilitat (tan en estalvi energètic, com de millora del confort en cicles dia-nit i períodes anuals) de les cobertes fresques en l'àmbit geogràfic de Barcelona.
- Provar millores en revestiments de cobertes existents, per millorar-ne el comportament com a coberta fresca.
- Argumentar i donar un marc teòric per a implantar-les com a solució comú de coberta.
- Recomanacions i catàleg de bones pràctiques per garantir l'èxit en la implementació.

## **0.4. APROXIMACIÓ AL TEMA: ANTECEDENTS**

### **0.4.1. ESTRATÈGIES TRADICIONALS PER MILLORAR EL CONFORT A L'ÀREA MEDITERRÀNIA**

Aquest punt, fa un repàs superficial, sobre diferents estratègies emprades tradicionalment, en la nostra latitud o en altres zones més càlides, per tal de mitigar l'efecte de la radiació solar sobre les construccions.



De tots els temps els humans s'ha protegit de l'excés de radiació (imatge 0.07), en especial en els climes més càlids. Quan aquesta radiació no és constant durant tot l'any, cal protegir-se durant uns mesos, però no durant els mesos més freds. Son les estratègies adoptades en aquestes latituds, les que per la seva condició de canviants durant l'any, fan que siguin més interessants.



**Imatge 0.07.**

**Font:** Eduard Garcia İstiklal Caddes, Estambul, Turquia.

Hom constata que un objecte col·locat a l'ombra té una temperatura pròpia propera a la de l'aire que l'envolta. Si li retirem l'ombra i l'exposem a la radiació solar, després d'una certa estona la seva temperatura s'ha elevat manifestament uns graus Celsius addicionals que poden ser des de 20 graus si és de color clar fins a 50 graus si és de color fosc.

Tradicionalment l'arquitectura a l'àrea mediterrània s'havia protegit de la calor, principalment motivada per la intensa radiació solar dels molts dies clars d'estiu. Aquesta protecció ambiental es fonamentava en diferents estratègies, sovint basades en sistemes flexibles, les quals s'adapten a les condicions ambientals segons les característiques climàtiques de l'època de l'any [27] [28]:

- fomentant la ventilació, en els espais habitats o en cambres dels tancaments. (gelosies, patis interiors, golfes, cambres ventilades...)
- creant ombres sobre les zones habitables. (porxos, arbres, tendals, persianes...)
- l'ús del color blanc en les seves superfícies exteriors, gràcies a l'abundància del carbonat de calci que s'aplicava com a pintura amb efectes de reflector i també amb efectes de desinfecció.

Anem a analitzar, en el cas concret de les cobertes, cada una aquestes tres possibilitats, tan des de el punt de vista higrotèrmic, com des de el punt de vista constructiu.

#### **0.4.1.1. VENTILACIÓ**

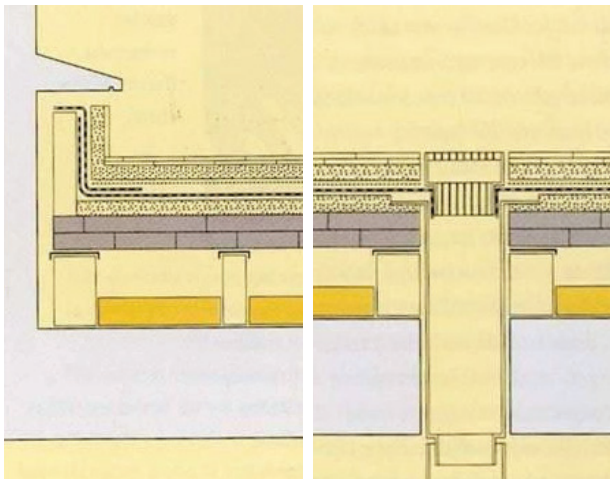
Són coneguts les avantatges d'interposar una cambra ventilada entre l'exterior i l'interior en una coberta. Aquest tipus de cobertes se les anomena tradicionalment com a “cobertes fredes”.

Aquesta cambra, podia tenir una dimensió relativament petita, en les cobertes planes, però podia arribar a tenir l'alçada d'una planta sencera en les edificacions agrícoles. Ja que l'estudi es centre en les cobertes planes, obviarem les inclinades, i ens centrarem en aquestes primeres.

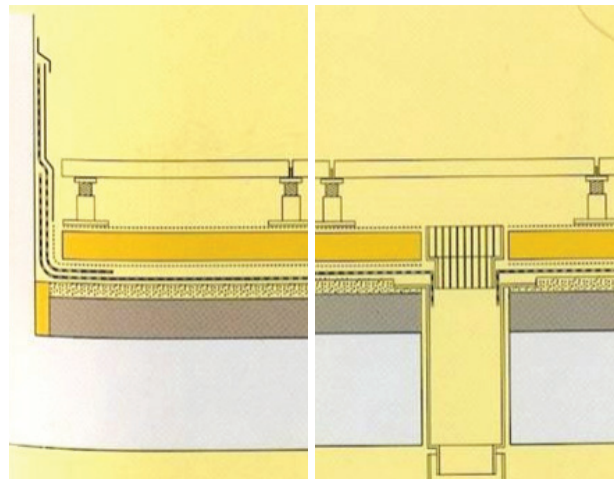
Inserir aquesta cambra ventilada en un pla horitzontal, comporta una sèries de dificultats constructives obvies, les quals havien de ser resoltes, generalment interposant una subestructura recolzada sobre l'últim sostre de l'edifici (envans conillers o de sostre mort, plots regulables...)

Entre les cobertes fredes, ens podem trobar amb diferents situacions de les capes que formen el sistema, així, en la coberta a la catalana (imatge 0.08), la cambra d'aire està entre la capa impermeable i l'aïllament (en cas d'existir). En canvi a la coberta amb paviment flotant (imatge 0.09), la cambra està com a penúltima capa i per l'exterior només hi resta el paviment.





Imatge 0.08. Coberta a la catalana



Imatge 0.09. Coberta amb paviment flotant

Font: Revista Tectónica núm.6 (Cubiertas planas I)

Evidentment el comportament higrotèrmic d'una i altre es diametralment diferent. La primera, permet “transpirar”, ja que la capa impermeable està per l'exterior i la cambra d'aire facilita la evacuació dels excessos d'humitat.

En la coberta amb paviment flotant, aquest recurs serà impossible, ja que la capa impermeable (que sempre serà barrera de vapor en les cobertes planes) va adherir al suport.

De totes maneres, i ja referit a aquest treball, ambdues cerquen el mateix, interposar aquesta cambra d'aire, que provocarà que la capa immediatament per sota, es mantingui a una temperatura propera a la de l'aire, força allunyada de la temperatura de la capa superficial sotmesa a la radiació solar directa. Cal però considerar la possibilitat que aquesta cambra ventili de forma generosa, si no, l'aire s'escalfarà i la transmissió de calor augmentarà. A aquest efecte s'ha analitzat el que considera una coberta ventilada el Codi Tècnic de la Edificació. En aquest especifica que serà una coberta amb capa ventilada quan:

*“Cámara de aire ventilada: Cuando se disponga una cámara de aire, ésta debe situarse en el lado exterior del aislante térmico y ventilarse mediante un conjunto de aberturas de tal forma que el cociente entre su área efectiva total,  $S_s$ , en  $\text{cm}^2$ , y la superficie de la cubierta,  $A_c$ , en  $\text{m}^2$  cumpla la siguiente condición” [29]*

$$30 > (S_s/A_c) > 3$$

Per una coberta de  $100\text{m}^2$ , l'àrea efectiva de ventilació oscil·la entre  $300$  i  $3000\text{ cm}^2$ , sembla que la disparitat en la superfície és prou distant com per pensar que una o altra, tindran un funcionament poc eficaç. Caldria considerar la possibilitat d'afinar més aquesta àrea considerant les característiques del clima on es construeix.

#### 0.4.1.2. OMBRES

*“Els nostres avantpassats de qualsevol classe social feien l'impossible per protegir-se del sol, ... per raons evidents de confort visual i tèrmic”  
Òscar Tusquets.” “Más que discutible” 1994.*

Les ombres són un recurs poc utilitzat en les cobertes. Sí que trobem objectes arquitectònics, en forma de porxos, pèrgoles, tendals i ombrel·les, sovint complements efímers de les construccions. De totes maneres acostumen a anar més lligats a la protecció del pla vertical (façana) que del pla de remat de l'edificació (coberta).

Amb els nous requeriments de captació de radiació solar, s'obra una possibilitat interessant: aquesta és sobreposar els captadors, en una estructura addicional, la qual permet subjectar els panells i oferir ombra sobre la coberta.(imatge 0.10: Coberta de la Fabrica del Sol. Barcelona)



**Imatge 0.10.** Coberta de la Fabrica del sol (Barcelona)

**Font:** Chopo. Cedida per Toni Solanas.

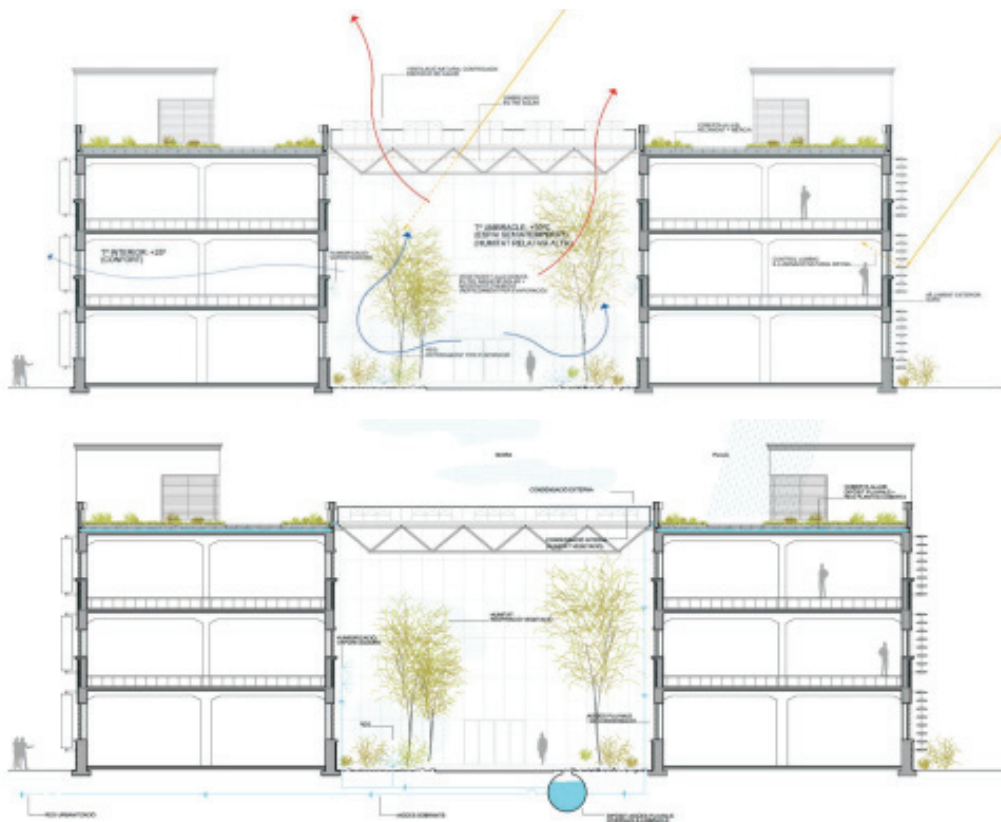
Si aquesta subestructura és prou alta, permet activitats dessota seu, generant un grau considerable de confort gràcies a l'ombra provocada.

Provinent del coneixement agrícola, hi ha una tendència, a projectar hivernacles annexionats a l'arquitectura. Tal i com els agricultors controlen les condicions d'humitat i temperatura, aquests edificis controlen les condicions de confort, en el rang humà, a base de ventilar o ombrejar aquests espais.



Un exemple d'aquests edificis és la rehabilitació feta per l'equip de Felipe Pich-Aguilera Baurier i José Maria Puigdemasa Hospital en l'obra de Rehabilitació “cuartels” de Gardeny. Lleida. [30]

En aquesta obra es cobreix el pati central amb un estructura d'hivernacle, i es controla el clima interior amb estratègies de ventilació i ombrejament d'aquest espai.



**Imatge 0.11.** “Cuartels” de Gardeny Lleida

**Font:** Revitalización de antiguos cuarteles a partir de un nuevo espacio climático. Síntesis gráfica del comportamiento bioclimático en invierno y en verano. **Fotos:** OMR

No és objecte d'aquest document analitzar el correcte funcionament d'aquesta rehabilitació. Sí que es vol advertir el que sembla un encert remarcable el color de les lones que generen ombra, són clares i, probablement tenen filaments metàl·lics (veure les fotografies). Aquestes, no tan sols provocaran que la radiació solar no arribi als atris, sinó que, en gran part serà reflectida, sense provocar canvi en la seva longitud d'ona, i conseqüentment, sense provocar efecte hivernacle. Ens serveix aquest exemple per lligar amb la tercer de les estratègies enumerades al començament.

#### 0.4.1.3. REFLEXIÓ

*“L'exterior de l'edifici es pinta de color blanc o amb colors clars que reflecteixin al màxim la radiació solar”. Rafel Serra Florensa, “Les energies a l'arquitectura” 1993.*

Aquest és el cas del clima mediterrani on trobem molts pobles de la península Ibèrica, Grècia, illes Balears... que prèviament a les èpoques de més calor hi ha un treball anual de repintar les construccions. Les imatges inferiors, mostren aquesta feina de pintar de blanc, la qual encara es porta a terme en alguns punts. En la segona foto (imatge 0.12), el poble de Lindos, vist a ull d'ocell, mostra la quantitat de cobertes que han estat pintades de blanc.



**Imatge 0.12.** Mykonos i Lindos, Grècia. Estiu 2014.

**Font:** Xavier Espar

Semblaria evident que una solució immediata seria, revestir de blanc tot el que es pogués. Les preguntes que hom es fa són: és això sempre possible? de quina manera? a quines incompatibilitats normatives / incomprensions estètiques ens hauríem d'enfrontar? O bé quines incomoditats provocaria a l'enlluernament visual?

Més enllà del que s'ha dit fins aquí, hom pot imaginar pigments que canviïn de color amb la temperatura, tal com ho fan els vidres fotocromàtics de les ulleres, o pigments termocromàtics [31] ja utilitzats per alguns artilugis. Alguns d'aquests pigments són àmpliament utilitzats en altres disciplines, però encara no han estat introduïts en els materials de construcció. De totes maneres, dia a dia, apareixen articles on descriuen materials “intel·ligents” capaços d'absorbir la radiació solar en les estacions fredes i reflectir-lo en les estacions càlides [32].

Per últim, hi ha un factor, el qual ja s'ha anomenat tangencialment, però de suma importància en l'arquitectura. Igual que s'ha vist com cal un manteniment anual per als revestits blancs de les edificacions, caldrà avaluar quin envelliment tenen tots aquests productes. Com els pot afectar la pols i brutícia que es diposita en les cobertes? Serà suficient mantenir-los nets o realment perdran les particularitats que els feines singulars amb l'envelliment?. Aquesta variable, tal i com es veurà, són una de les característiques que s'avaluen en tots aquells materials que volen tenir el segell per a ser considerats a l'hora de construir una coberta fresca.

I, sense ser capaços d'endevinar el futur, hom està segur que disciplines com la nano tecnologia [33], la química i la física hi tenen molt a dir en aquest aspecte. No seria difícil d'imaginar materials intel·ligents que, a més a més de ser captadors d'energia, siguin capaços de modificar el seu color segons la temperatura i fins ser capaços de radiar l'excés de calor de l'interior de l'edifici.... Actualment ja han aparegut materials auto- netejables [34], que milloren les qualitats ambientals del seu entorn. Cal però no perdre de vista la seva finalitat principal, generar un entorn arquitectònic harmònic i confortable.

### 0.4.2. ESTAT DE L'ART. CONEIXEMENTS PREVIS

Quan hom comença a indagar sobre la reflexió com a estratègia per a la millora del confort i l'estalvi d'energia als edificis, es troba que hi ha equips de recerca que porten un llarg recorregut investigant en aquest camp. L'estudi d'articles i investigacions portades a terme per aquests equips, evidencia un interès i eficiència notable. L'anàlisi d'aquesta documentació, a més a més de coneixements ha aportat una metodologia de treball, la qual ha sigut determinant per organitzar aquest estudi.

Calia il·lustrar-se sobre els temes exposats:

- Quins resultats han obtingut els equips que treballen el tema?.
- Quina metodologia utilitza les instal·lacions monitoritzades que prenen dades en cel·les test a escala?
- Existeixen normatives, segells, associacions, estandardització per avaluar aquestes característiques en els materials de construcció que es centrin exclusivament sobre el tema desenvolupat en qüestió?
- Quina implementació i aplicabilitat tenen aquestes investigacions en l'Arquitectura real? Hi ha la possibilitat de replicabilitat en qualsevol àrea geogràfica, o per el contrari cal un estudi en detall per a cada zona en concret?

El present capítol, fa un repàs, sobre diferents aspectes els quals han estat estudiats per tal de, posteriorment, desenvolupar tota la investigació que forma el cos de l'obra.

#### 0.4.2.1. EQUIPS D'INVESTIGACIÓ.

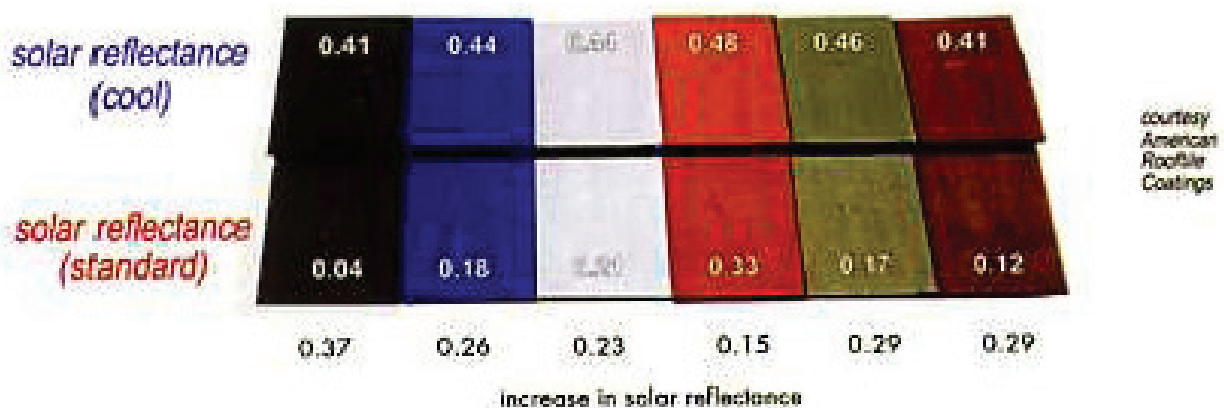
La millora de la reflexivitat a la radiació solar en els materials de la construcció és una iniciativa relativament recent.

Ja des de mitjans dels anys 1980 s'han estudiat els efectes positius dels revestiments reflectants col·locats en la coberta dels edificis. Així es va desenvolupar el concepte inicial que s'anomena “cool colors”. Trobem articles i productes estudiats i desenvolupats des del Environmental Energy Technologies Division (EETD) de EUA per l'equip encapçalat per Dr. Hashem Akbari.

Des del 2004, ja hi ha referència d'articles sobre les propietats dels “cool colors” per a millorar les temperatures interiors dels habitatges, reduir la despesa energètica en aire condicionat i fins i tot controlar les “illes de calor” urbanes [35]

Durant aquest període, la recerca duta a terme per aquest equip ha desenvolupat una línia de productes per a cobertes, bàsicament teules i plaquetes ceràmiques, amb un revestiment d'acabat a base de pintura tipus “cool color”. Els resultats assolits fins ara mostren un revestiment de coberta de colors i forma idèntic a l'original però amb un grau de reflexió considerablement més alt.

A la imatge 0.13, es presenta el material amb el grau de reflexió solar amb o sense tractament.



Imatge 0.13.

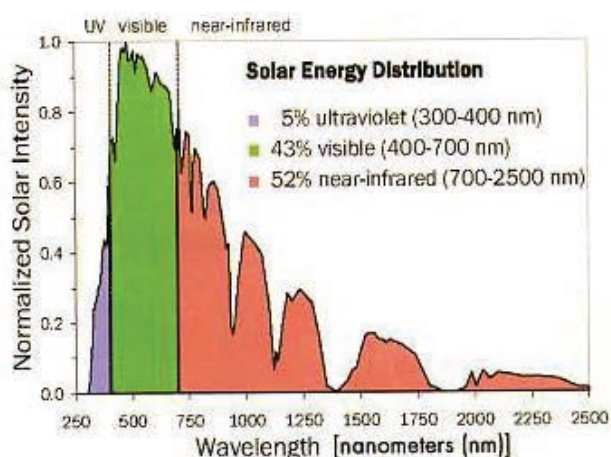
Font: Cool Color Project: Improved Materials for Cooler Roofs

En aquesta imatge es comparen materials aparentment iguals i del mateix color però amb índex de reflexió relativament diferents.



Amb els mateixos materials es fan proves amb maquetes escala 1:10 d'edificis. Són cel·les experimentals dotades de sondes i amb capacitat per oferir diverses dades per a provar l'eficiència de cada tipus d'acabat [36]. (aquesta instal·lació s'explica detalladament al punt veure 0.4.3).

Per aconseguir aquest efecte favorable, els “cool colors” reflecteixen bona part de l'energia radiant de l'aspecte electromagnètic més proper als infrarojos. Així aconseguixen mantenir l'efecte cromàtic visual, i modificar el grau d'absorció de la radiació infraroja. Tal i com indica el gràfic de la imatge 0.14, el percentatge de l'energia acumulada en la radiació infraroja, és superior al 50%, poder reflectir-la, farà mantenir els materials a una temperatura inferior.



**Imatge 0.14.**

**Font:** Cool Color Project: Improved Materials for Cooler Roofs

cobertes amb més demanda comercial. Les mostres d'aquests productes van ser exposades a l'aire lliure (imatge 0.15), per estudiar com reaccionaven al rang de la radiació dels solar, dels canvis de temperatura i pas del temps.



**Imatge 0.15.**

**Font:** Cool Color Project: Improved Materials for Cooler Roofs

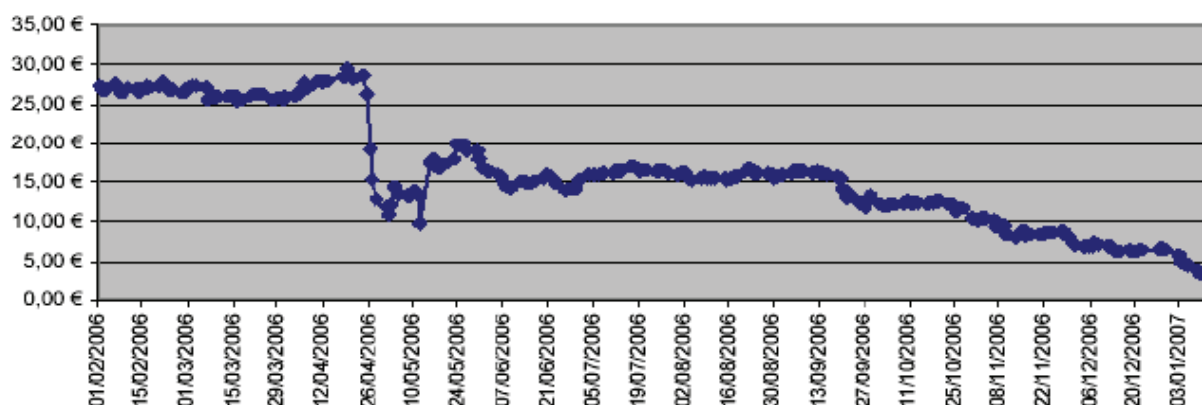
L'objectiu d'aquesta investigació era millorar les condicions dels materials habituals de construcció de cobertes, sense canviar l'aspecte de les construccions d'Amèrica del nord (habitatges unifamiliars aïllats amb cobertes amb pendent i materials foscos d'acabat). L'ús dels cool colors permet una millora del material utilitzat normalment, sense necessitat de variar la imatge final.

Així el EETD, juntament amb l'Oak Ridge National Laboratory, va avaluar una sèrie de mostres dels diferents acabats pel revestiments de

En un article posterior, de 2008 [37] el mateix equip, fa una anàlisi econòmica de l'estalvi que pot suposar incrementar l'albedo a les zones urbanes.

En aquest article, estima les tones de CO<sub>2</sub> que es podrien evitar emetre i prenent un preu per tona de CO<sub>2</sub>, en determina un estalvi econòmic. (imatge 0.16). Igualment determina l'energia que es pot arribar a estalviar en aire condicionat. Finalment valora l'estalvi econòmic/any, estimat en \$1.100 bilions que suposaria augmentar l'albedo de les àrees urbanes en un 0'1.

Altres articles de temàtica similar corroboren les mateixes conclusions [38].



Imatge 0.16. Precios del Derecho de Emisión de CO<sub>2</sub>.  
Font: SENDECO2

Paral·lelament, un altre equip d'investigadors europeus, encapçalats per Matheos Sathamouris, amb una trajectòria de recerca similar a l'equip anteriorment anomenat, comparen el grau de reflexió de diferents materials de revestiments exteriors. A l'article, *Development and testing of thermochromic coatings for buildings and urban structures*, (abril 2009) experimenten amb materials evolucionats, capaços de reaccionar i modificar el seu aspecte de color segons la seva temperatura superficial. [39]

Els materials termocromàtics presenten la propietat de canviar de color segons la seva temperatura. Això implica que també modifiquin el seu grau de reflexió. L'article compara el comportament de tres mostres de materials: un amb revestiment termocromàtics, un amb revestiment pintura freda (Cool Color) i un altre amb revestiment comú.

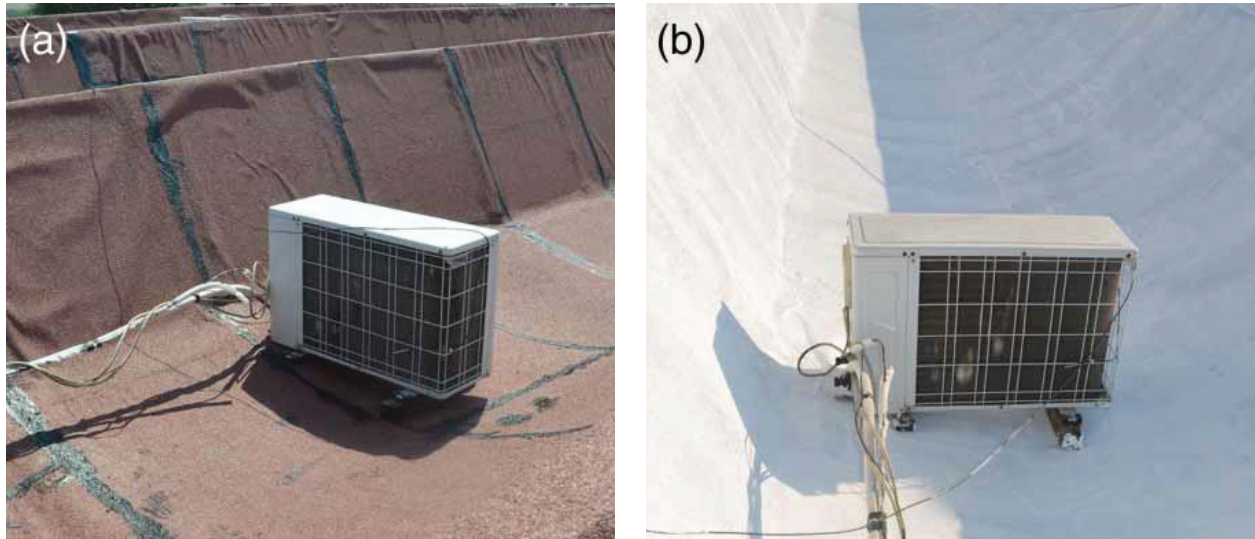
El material termocromàtic canviava de característiques a partir de 30° C de temperatura. El resultat del comparatiu demostra finalment que el revestiment termocromàtics reflecteix considerablement més radiació que la pintura freda i que els pigments habituals. En les conclusions de l'article es, torna a fer referència a la possibilitat de millorar el microclima de les zones altament urbanitzades. [39]

Altres experiències amb materials, en aquest cas menys sofisticats, són els reportats en *Properties and performance of an innovative reflective painting to reduce the cooling loads in buildings and mitigate the heat island effect in urban areas* [40] en aquest s'analitza el resultat de pintar els tancaments amb una barreja de llet i vinagre.

També a nivell europeu, la universitat de Perugia (Itàlia), amb col·laboració amb els investigadors Grecs, han avaluat els avantatges de mantenir la coberta fresca en la maquinària per a climatitzar l'aire a l'interior dels edificis. [1] Lògicament, si l'aire en el qual cal evacuar calor està més fresc (cosa que passa en les cobertes fresques) el treball que haurà de fer el compressor del evaporador



serà inferior, i per tant hi haurà un estalvi energètic i econòmic (imatge 0.17). L'article a més a més avalua quin es el grau de satisfacció i de comportament de les persones abans i després de l'aplicació del sostre fresc.



**Imatge 0.17.**

**Font:** Active cool roof effect: impact of cool roofs on cooling system efficiency. Temperature probes of the suction air in (a) scenario before and (b) scenario after.

A nivell estatal, hi ha un article, el qual verifica l'eficàcia de la estratègia en pràcticament la totalitat del territori espanyol. [41] Utilitzant el model desenvolupat per U.S. Department of Energy's Oak Ridge National Laboratory [42] i adaptant-lo als climes existents a la península, es calcula per a cada província espanyola quin seria el potencial estalvi o sobrecost. L'article defineix quines zones tindrien el major potencial estalvi, partint de les premisses que el sostre pugui ser molt o mig fosc:

*The greatest savings are achieved in Gran Canaria (48% in energy cost reduction), Tenerife (48%), Cádiz (36%), Murcia (33%), Huelva (30%), Málaga (29%), Almería (29%) and Sevilla (28%), where economical savings are greater than 2 €/m<sup>2</sup> for old buildings with dark roofs. [41]*

I centrant-se en les ciutats més grosses

(traducció del text original) Les ciutats més grosses d'Espanya, tenen estalvis situats entre els 0,2 i els 0,76 €/m<sup>2</sup> a Madrid, entre 0.25 i els 1.1 €/m<sup>2</sup> a Barcelona i de 0.36 a 1.4 €/m<sup>2</sup> a Valencia. [41]

L'article, estableix doncs, que la utilització de cobertes fresques a Barcelona suposaria estalvis importants. Evidentment ciutats amb major hores d'assolellament, els estalvis augmentarien.

Finalment replica una sèrie de conceptes erronis sobre les cobertes fresques. Aquest conceptes i molts d'altres seran tinguts en compte a l'hora d'imaginar una implementació d'aquest tipus de cobertes en les nostres ciutats. Els conceptes erronis que assenyala són:

- El sobre cost energètic (i econòmic) es superior que els estalvis obtinguts.
- L'envel·liment dels productes per a cobertes fresques envelleixen i fa que perdin la seva capacitat de reflexió.
- Els productes per a cobertes fresques, han de ser blancs o pràcticament blancs.
- L'aire condicionat no és encara un electrodomèstic molt estès a Espanya, per tant els estalvis econòmics seran petits.

Distribució dels equips d'aire acondicionat a Europa:

1	Espanya	37%
2	Itàlia	20%
3	Grècia	15%
4	França	11%

**Imatge 0.18.**

**Font:** Informe 2009 del Joint Research Centre de la Unió Europea

- Les cobertes fresques només poden ser planes.

Els autors de l'article, donen resposta a cada un dels punts plantejats, desmuntant prejudicis sobre cobertes fresques i justificant cada una de les respostes.

Segons les conclusions de tots els equips d'estudi, i dels articles examinats, les cobertes fresques generen estalvi energètic, econòmic i eviten (aplicades de forma massiva) l'efecte “illa de calor” [43] a les ciutats. A més a més, la solució no passa únicament per a cobertes de color blanc. Per últim, queda clar que en l'àrea de Barcelona tenim una potencial millora en les cobertes. Hi ha però la incògnita de si la nostra tradició constructiva i cultural admet aquest tipus de cobertes, tan des de poder-les aplicar en els les solucions constructives de coberta comunament utilitzades, fins admetre estèticament imatges de cobertes de colors o tons clars, generalment, poc utilitzats.

#### 0.4.2.2. RECERCA SOBRE COOL ROOF

De les diferents investigacions i articles que s'han analitzat sobre cool roof, efectuades amb mostres d'acabats de cobertes sotmeses a condicions climàtiques reals, es podrien diferenciar les següents tipologies de treballs, amb trets comuns:

- Els primers serien aquells que comparen diferents mostres de materials frescos, amb mostres relativament petites [44] [45] i sobretot avaluant el grau de reflexió i emissivitat del material amb l'ajuda de sofisticats aparells (el que determina la temperatura superfi-

cial del material exposat a condicions reals) i posteriorment, amb l'ajuda de programes de simulació, s'extrapolen els resultats obtinguts en construccions més complexes.

- També hi ha experiències amb cel·les monitoritzades [46] on els materials són sotmesos a condicions reals, per posteriorment, mitjançant extrapolacions matemàtiques, calcular els estalvis associats a refrigeració o bé a mitigar l'efecte illa de calor.
- Altres experiments, consisteixen en avaluar tèrmicament un edifici real, abans i després de la implementació d'una coberta fresca. Aquestes investigacions han estat realitzades en països amb latituds semblants a les nostres, com Itàlia, però també amb climes més freds, com França (Poitiers) i Anglaterra (Londres) [47] [48] [16] [17] [49]
- I per última els que analitzen nous productes per a revestir d'acabats de coberta i transformar-les en cobertes fresques [40] [39] [45] [50]

En la majoria d'aquestes investigacions, la durada d'exposició de les peces, és relativament curta, i els resultats serveixen per calibrar un programa de simulació energètica, mitjançant el qual s'obtingran resultats. Per extrapolar cal, utilitzar sistemes com els graus-dia o fitxers de clima de la zona que s'estudia. Altres investigacions, analitzen un edifici, abans i després de l'aplicació del revestiment fresc. Això implica que les condicions meteorològiques no seran les mateixes i caldrà, altre cop, utilitzar la simulació energètica per a obtenir resultats.

En les investigacions analitzades, no s'ha detectat cap estudi que analitzi materials durant llarg períodes de temps, sotmesos a condicions reals simultàniament. L'originalitat d'aquest treball, consisteix en:

- Durada: tenir durant un període de temps relativament llarg (aproximadament 2 anys en cel·les PAUS i 1 any en ALGECO) diferents mostres de materials d'acabats de cobertes usats a Barcelona.
- Mètode: Les mostres de material d'acabat de coberta s'exposen cada una en una cel·la test. Això permetrà avaluar-ne simultàniament la temperatures superficials de la mostra, així com la incidència en la temperatura en l'interior de l'espai que cobreix el sostre on s'exposen els materials.

Per últim es vol remarcar que malgrat hi ha força exemples d'investigacions en climes semblants al nostre (clima mediterrani), aquesta investigació es centra en provar materials d'acabats de coberta típicament utilitzats a l'àrea de Barcelona. A aquest efecte, com a material de referència es pren la ceràmica (acabat tradicional de totes les cobertes a la catalana, la més usual a l'Eixample de Barcelona) i serà sobre els resultats obtinguts en aquest sobre el que es compararan i s'avaluarà el marge

#### 0.4.2.3. NORMATIVA / LEGISLACIÓ

Tal i com és tendència mundial, tots els estats estan regulant per reduir el consum energètic, lògicament per reduir l'emissió de gasos d'efecte hivernacle i intentar aturar l'escalfament global. La construcció no n'és una excepció. Les cobertes fresques han demostrat ser una mesura eficient i efectiva per reduir el consum d'energia als edificis, millorar el confort i reduir l'efecte illa de calor. Això ha fet que força països, estats i/o ciutats ja tinguin una normativa la qual obliga a la utilització de materials d'acabats de coberta amb la qualificació de “freds”.

El grau d'exigència, segons els tipus i dimensió de l'obra, l'índex de reflexió i emissivitat, així com els tipus de materials queda regulats en aquestes normatives.

De totes les normatives o recomanacions que s'han localitzat, es comentarà en profunditat la de l'estat de Califòrnia als Estats Units, ja que aquests van ser els precursors en legislar. Les altres, s'anomenaran o s'emfatitzarà allò que sembla més interessant.

Als Estats Units no són pocs els segells o codis constructius que citen i exigeixen la utilització de cobertes fresques. Abans d'entrar en matèria amb els Codi de l'Estat de Califòrnia, es fa un petit repàs dels diferents documents que fan esmena d'aquestes cobertes.

Per tal de regular sobre les característiques dels materials vàlids per a la construcció i que els legitima com a frescos, existeixen dues organitzacions (EEUU):

- El Cool Roof Rating Council (CRRC) [www.coolroofs.org](http://www.coolroofs.org) Aquesta organització, avalua i ofereix un llistat de materials a la seva web, els quals han sigut homologats per a ser utilitzats com a materials per a cobertes fresques. <http://coolroofs.org/products/results> En la taula de la pagina web, ofereixen els valors de reflectivitat, emissivitat i el solar reflectance index (SRI). Aquests valors els trobem en estat inicial i un cop envellits passats tres anys.

Índex SRI (solar reflectance index)\_ prové d'una equació que combina els SR (solar reflectance) i TE (thermal emittance). El rang està entre 0 i 100. Com més alt més “fresc” serà el material. Es calcula segons ASTM E1980-01

- ENERGY STAR [www.energystar.gov](http://www.energystar.gov) L'Agència de Protecció Ambiental dels EUA té una funció complementària al CRRC. Aquesta determina uns valors mínims de reflectància i emissivitat depenent de la pendent de la coberta. Per a la obtenció dels valors de reflexió i emissivitat cal seguir uns protocols definits per l' ASTM [51]

### What specifications does a roof need to meet to be considered for credit under the Title 24 Standards?

Commercial and residential products must meet the following specifications according to the ASTM standards outlined below:

	ASTM	Tiles	Multiply or Liquid
<b>Solar Reflectivity</b>	E903 or E1918	0.40+	0.70+
<b>Emittance Factor</b>	E408	0.75+	0.75+

Imatge 0.19.

Font: [www.energystar.gov](http://www.energystar.gov)

S'entén que cada nació o codi tècnic que pretengui legislar sobre els materials d'acabats de coberta, requerirà d'organitzacions les quals avaluin i garanteixin les propietats dels materials i els pugui definir com a frescos.

## LEGISLACIÓ CALIFÒRNIANA:

Normativa: TITLE 24 STANDARDS. California code regulations [52]:

Part 6. Sections 141, 142, and 151(b)\_ Aquestes seccions estableixen les regles per implementar, etiquetar i certificar els requeriments relacionats amb la reflectivitat i emissivitat de les cobertes. Aquesta tasca està regulada i supervisada per el CRRC.



Definició de valors:

Regulació de Califòrnia. Cobertes fresques: La regulació ve donada per la zona climàtica en que es troba l'edifici i una sèrie de variables que s'especifiquen més avall.

Totes aquestes definicions es troben a: Title 24, *Part 6, of the California Code of Regulations: California's Energy Efficiency Standards for Residential and Non-residential Buildings. Summary of the adopted 2008 Cool Roof Prescriptive Requirements (as of 6/30/08)* [53]

La classificació climàtica amb les especificacions segon cada tipus d'obra es pot trobar en la taula resum:

Imatge 0.20. Zones climàtiques a Califòrnia.

Font: <http://www.energy.ca.gov/title24/>

ANÀLISIS TÈCNIC I FÍSIC DEL COMPORTAMENT  
DE LES COBERTES “FRESQUES” (COOL ROOFS) : EL CAS DE CATALUNYA.

Section	Prescriptive	Construction Type	Occupancy Type	Slope	Roofing Product Density	Climate Zone	Minimum 3 year Aged Solar Reflectance	Minimum Thermal Emittance	Minimum Solar Reflectance Index (SRI)	Notes	Page
143	Prescriptive	New Construction	Non-residential	Low Slope	N/A	Zones 2-15	0.55	0.75	64	*Exceptions	127
143	Prescriptive	New Construction	Non-residential	Steep Slope	<5 pounds/ft²	Zones 2-16	0.2	0.75	16	*Exceptions	127
143	Prescriptive	New Construction	Non-residential	Steep Slope	> or = 5 pounds/ft²	Zones 1-16	0.15	0.75	10	*Exceptions	127
143			High rise residential buildings, hotels, motels								
143		New Construction	Relocatable Public School Buildings Where Manufacturer certifies use in all climate zones	Low Slope	N/A	Zones 10,11,13,14,15	0.55	0.75	64	*Exceptions	127
143 c			Relocatable Public School Buildings Where Manufacturer certifies use in all climate zones	Low Slope	N/A	Zones ALL	0.55	0.75			134
143 c		New Construction	Relocatable Public School Buildings Where Manufacturer certifies use in all climate zones	Steep Slope	<5 pounds/ft²	Zones ALL	0.2	0.75			134
143 c		New Construction	Relocatable Public School Buildings Where Manufacturer certifies use in all climate zones	Steep Slope	> or = 5 pounds/ft²	Zones ALL	0.15	0.75			134
149		Re-Roofing (Replacements, recovering or recoating)	Non-residential	Low Slope	N/A	Zones 2-15	0.55	0.75	64	*Where more than 50% of the roof or more than 2,000 square feet of roof, whichever is less is being replaced, recovered or relocated. *Exceptions	186
149		Re-Roofing (Replacements, recovering or recoating)	Non-residential	Steep Slope	<5 pounds/ft²	Zones 2-16	0.2	0.75	16	*Where more than 50% of the roof or more than 2,000 square feet of roof, whichever is less is being replaced, recovered or relocated. *Exceptions	186
149		Re-Roofing (Replacements, recovering or recoating)	Non-residential	Steep Slope	> or = 5 pounds/ft²	Zones 1-16	0.15	0.75	10	*Where more than 50% of the roof or more than 2,000 square feet of roof, whichever is less is being replaced, recovered or relocated. *Exceptions	186
149		Re-Roofing (Replacements, recovering or recoating)	High rise residential buildings, hotels, motels	Low Slope	N/A	Zones 10,11,13,14,15	0.55	0.75	64	*Where more than 50% of the roof or more than 2,000 square feet of roof, whichever is less is being replaced, recovered or relocated. *Exceptions	186
151	Prescriptive	New Construction	Low Rise Residential	Steep Slope	<5 pounds/ft²	Zones 10-15	0.2	0.75	16	*Exceptions	209
151	Prescriptive	New Construction	Low Rise Residential	Steep Slope	> or = 5 pounds/ft²	Zones 1-16	0.15	0.75	10	*Exceptions	209
151	Prescriptive	New Construction	Low Rise Residential	Low Slope	N/A	Zones 13 and 15	0.55	0.75	64	*Exceptions	209
151	Prescriptive	Re-Roofing	Low Rise Residential	Low Slope	N/A	Zones 13 and 15	0.55	0.75	64	*Exceptions	209
152	Prescriptive	Re-Roofing (Replacements)	Low Rise Residential	Steep Slope	<5 pounds/ft²	Zones 10-15	0.2	0.75	16	*Where more than 50% of the roof or more than 1,000 square feet of roof, whichever is less is being replaced, recovered or relocated. *Alternatives/Exceptions	218
152	Prescriptive	Re-Roofing (Replacements)	Low Rise Residential	Steep Slope	>5 pounds/ft²	Zones 1-16	0.15	0.75	10	*Where more than 50% of the roof or more than 1,000 square feet of roof, whichever is less is being replaced, recovered or relocated. *Alternatives/Exceptions	219

Equation to obtain an aged value if the product does not have an aged value listed in the CRRR Directory and only has the current value:

$$* \text{ REFLECTANCE}_{\text{AGED}} = (0.2 + 0.7(p_n - 0.2))$$

\*  $p_n$  = Initial Reflectance listed with the CRRR



Tal i com expressa la taula, per determinar els valors mínims que han de tenir de reflexió, emissivitat i SRI (Solar Reflectance Index) s'han de tenir en compte les següents variables:

- El tipus de construcció: de nova construcció o reforma “re-roofing”.
- La tipologia d'edifici: en alçada o de planta baixa.
- El programa (bàsicament diferencia entre residencial o no)
- La pendent de la coberta.
- La densitat del producte utilitzat. O sigui la massa que acumularà la coberta.
- La zona climàtica.(veure plànol dels climes de l'estat de Califòrnia)

A partir d'aquestes entrades, la taula ofereix tres valors que s'ha de complir per triar el producte:

- La reflectivitat màxima després de tres anys d'envelliment,
- l'emissivitat tèrmica
- i el SRI (Solar Reflectance Index) derivat dels dos anteriors.

Si no es disposa del valor de reflexió “aged” ofereix una fórmula:

$$REFLECTANCE_{aged} = (0.2 + 0.7 (p_{in} - 0.2))$$

on  $p_{in}$  =Initial Reflectance listed with the CRRC

Finalment la taula ofereix la possibilitat de fer excepcions en cas de complir amb les condicions especificades.

El SRI pot obtenir-se a partir del full de càlcul desenvolupat pel Lawrence Berkeley National Laboratory <sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> <http://coolcolors.lbl.gov/assets/docs/SRI%20Calculator/SRI-calc10.xls>

## JUSTIFICACIÓ DELS VALORS DE REFLEXIÓ I EMISSIVITAT PER A LES COBERTES INCLINADES:

La majoria de requeriments per a ser considerat una coberta fresca, són menys restrictius amb les cobertes inclinades que amb les cobertes planes. Així per exemple, segons la taula de la Comissió Energètica de Califòrnia, es pot apreciar com les variables bàsiques de Reflectivitat, emissivitat i SRI, són més restrictives per les cobertes de poca pendent que per les cobertes de molta pendent.

Es destaca que com més densitat té el producte de revestiment de la coberta, menys restrictiu és el requeriment de reflexió que se li exigeix. Cal recordar que la majoria de cobertes inclinades als Estats Units són d'habitatges unifamiliars.

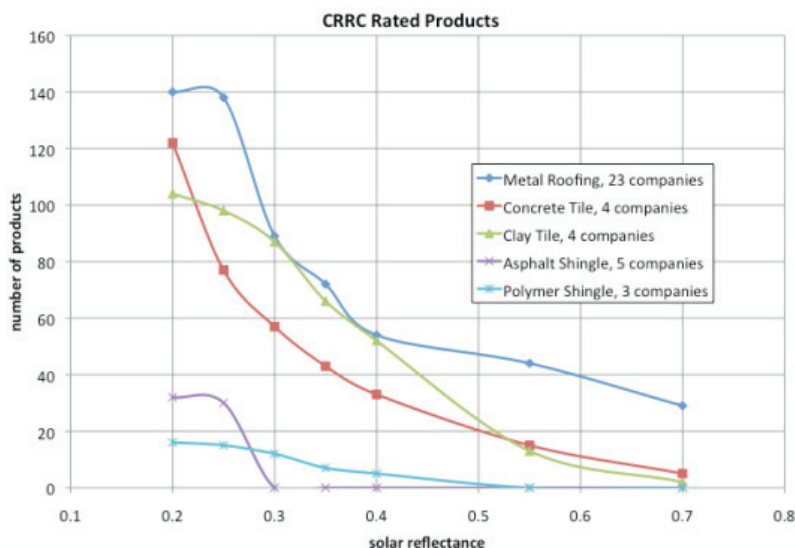
Roof Type	Solar Reflectance [3-year aged]	AND	Thermal Emittance [new or aged]	OR	Solar Reflectance Index (SRI) [3-year aged]
Low sloped	0.55		0.75		64
Steep sloped	0.20		0.75		16

Imatge 0.21.

Font: <http://coolroofs.org/documents/T242008Summary063008.pdf>

La justificació dels valors de reflectivitat de les cobertes inclinades és, segons John Arent, (Senior Engineer Architectural Energy Corporation), en correspondència mantinguda amb ell, per tres motius:

1. En els edificis residencials, la majoria de cobertes són inclinades i amb acabats de formigó o ceràmica. Aquets materials tenen una reflectància d'entre 0,3-0,4. O sigui ja



Imatge 0.22.

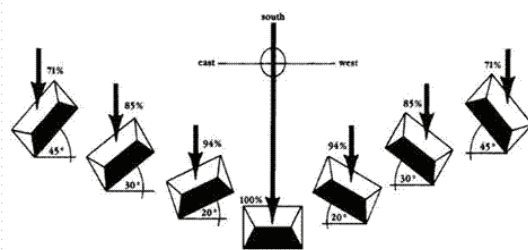
Font: CRRC

són valors que s'apropen a un bon grau de reflectància. A més a més tenen valors alts d'emissivitat. Així doncs es limita la reflexió solar a 0,2 per a altres productes com les llosetes asfàltiques o materials de coberta molt foscs els quals podrien a tenir una absorbància molt alta. A la taula adjunta (imatge 0.22) hi ha una distribució dels materials per a cobertes inclinades avalats per CRRC (any 2010).



2. La pendent de les cobertes inclinades està prop de 18°. El sumatori de radiació incident es inferior que en cobertes planes. Evidentment això encara serà més rellevant si

		Compass Bearing												
Roof Pitch (degrees)	Vertical	-90	-75	-60	-45	-30	-15	0	15	30	45	60	75	90
		East						South						West
90		56	60	64	67	69	71	71	71	69	65	62	58	
80		63	68	72	75	77	79	80	80	79	77	74	69	65
70		69	74	78	82	85	86	87	87	86	84	80	76	70
60		74	79	84	87	90	91	93	93	92	89	86	81	76
50		78	84	88	92	95	96	97	97	96	93	89	85	80
40		82	86	90	95	97	99	100	99	98	96	92	88	84
30		86	89	93	96	98	99	100	100	98	96	94	90	86
20		87	90	93	96	97	98	98	98	97	96	94	91	88
10		89	91	92	94	95	95	96	95	95	94	93	91	90
Flat		90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90



Imatge 0.23.

Font: <http://www.sunsfreesolar.com/basics-of-solar/insolation.aspx>

3. Per últim, el guany de càrregues tèrmiques internes d'un edifici d'habitatge és inferior a les càrregues en un edifici comercial o d'oficines. Per aquest motiu serà necessari majors despeses d'aire condicionat per aquests últims tipus d'edificis. Cal reduir en el màxim possible les càrregues de calor, i per tant la utilització d'un sostre fresc serà una molt bona alternativa en els edificis terciaris.

Procediment per complir la normativa.

La TITLE 24 STANDARD de Califòrnia [52].

La legislació que regula l'edificació a l'estat de Califòrnia, ja el 2005, va incorporar l'estalvi de les cobertes fresques en els seus preceptes. Per a "forçar" la utilització d'aquestes tècniques per els projectistes, les limitacions en el balanç de demanda energètica preveuen la utilització d'aquest tipus de cobertes.

"..., the allowed energy budget for a building is based on that building having a cool roof. If a cool roof is not installed, the "lost" energy savings that will result must be saved by other means..." (www.energydesignresources.com COOL ROOF DESIGN BRIEF)

Fent el símil amb el CTE espanyol (i utilitzant la terminologia del LIDER-CALENER), podríem dir que el càlcul de “l'edifici de referència”, ja comptabilitza, l'estalvi degut a la utilització d'una solució de coberta fresca. Per tant “l'edifici objecte” haurà d'incorporar una coberta d'aquestes característiques o bé caldrà augmentar el gruix d'aïllament tèrmic o proposar solucions alternatives les quals garanteixin un estalvi energètic similar a l'obtingut a l'edifici de referència.

Així tots els edificis d'obra nova com aquells que renovin la meitat de la coberta o 2000ft<sup>2</sup> (aprox. 185m<sup>2</sup>), hauran donar compliment als valors de reflexió, emissivitat i SRI fixats.

Per acomplir amb aquesta normativa hi ha dues vies:

A. “Check list”; de llistes de comprovació també en trobem dues de diferents complexitat:

A.1. *Envelope component*. Aquest és el mètode més senzill però també el menys flexible. Cal assegurar que cada sistema compleix per ell mateix

A.2. *Overall envelope*: Aquest permet petites variacions, ja que s'analitza tota la pell com a conjunt.

B. Simulació (de funcionament tèrmic) d'edificis: Aquest és més complicat però ofereix més possibilitats al projectista.

A.1. *Envelope component*. L'aproximació prescriptiva sobre cada sistema.

En aquest cas cal que cada un dels sistemes de l'edifici compleixi individualment els seus requeriments. Si un dels sistemes no compleix, queda fora de normativa tot l'edifici. La llista de comprovació que proporciona al Title 24 cal implementar una coberta fresca en l'edifici objecte. Tot i això, aquesta solució no justifica no posar aïllament tèrmic que correspon a unes altres exigències.

Els formularis que cal omplir i complir són:

- ENV-1-C Certificate of Compliance
- ENV-2-C Envelope Component Method
- Cal lliurar el certificat del producte testat segons el CRRC (Cool Roof Rating Council)

Tal i com s'ha dit, aquest sistema és molt senzill i fàcil però molt poc flexible

### A.2. *Overall envelope*: Enfocament prescriptiu: dotació global

Aquesta variació revisa l'edifici com un tot i no com una suma de sistemes. Si un dels sistemes no compleix amb el mínim definit es pot compensar amb altres sistemes el quals es reforçarà per evitar l'intercanvi d'energia. De forma que el guanys o pèrdues de calor globals siguin les que prescriu la normativa. Així, per exemple, en el cas de no utilitzar un sostre fresc, caldrà augmentar l'aïllament tèrmic de coberta per a compensar. A més a més cal justificar la solució en la secció constructiva.

Per al càlculs entre sistemes o tancaments la Norma subministra unes equacions (Equations 143-B, C, D, E)

Els formularis que cal lliurar per justificar el compliment energètic segons el càlcul de dotació global són els:

- ENV-1-C Certificate of Compliance
- ENV-3-C Overall Envelope Method

### B. Simulació (de funcionament tèrmic) d'edificis

Aquest es el sistema més complicat però també el més complert i aproximat. Ens prement una aproximació al funcionament tèrmicament de l'edifici fent participar totes les variables, ja siguin parts de la pell de l'edifici, maquinària per a climatitzar, il·luminar... Per a la simulació serà necessari un software admès per la Normativa.

## **NORMATIVES D'ALTRES ESTATS O ALTRES CIUTATS D'EUA [54]:**

Aquest recull de normatives han estat extrets d'un document redactat per el CRRC .El mateix document especifica que no és un recull exhaustiu i que caldria actualitzar-lo ja que constantment estan apareixent noves normatives o ordenances al respecte.

- City of Chicago Energy Conservation Code [55]: Aquesta normativa inclou un requisit per a cobertes fresques, enfocat sobretot a mitigar l'efecte Illa de Calor. El codi requereix que el nou residencial i cobertes de poc pendent comercials han de tenir un reflectància inicial no inferior a 0.72 i un valor al cap de tres anys superior 0,50. El mateix codi diferencia entre el grau de pendent essent els sostres amb més pendents superiors lliures de cap requeriment. Per últim permet exempcions per als sostres ajardinats i sistemes de balast (graves).
- City of Dallas Green Construction Ordinance (2008) [56] . L'Ajuntament de Dallas

aprova l'any 2008 una ordenança orientada a reduir el consum d'energia i d'aigua en totes les edificacions de nova construcció. A partir d'octubre de 2009, l'ordenança requereix que tots els edificis comercials amb coberta plana tinguin una reflectància solar inicial de 0,65 i envellit de 0.50. Per als projectes comercials majors de 50.000 m<sup>2</sup>, han de complir amb el 85% dels punts de la certificació energètica LEED

- New York City Building Code (2008) [57]. tots els edificis de nova construcció amb un pendent de la coberta 3:12 (aproximadament 14°) o inferior han de tenir un sostre blanc, o amb dades de reflexió i emissivitat semblants, que cobreixi almenys el 75% de la superfície de la cobert. El codi de inclou excepcions per a terrasses, sostres enjardinats o terrats amb àrees recreatives, ja que els requisits són diferents. És especialment interessant aquest últim apunt el qual diferencia entre cobertes amb usos diferents per a determinar els requisits del grau i tipus d'aïllament.
- City of los Angeles cool roof ordinance Building Code Requirements (October 1, 2014) [58]. El codi de la ciutat de los Angeles, requereix uns valors de cobertes fresques, per edificis amb cobertes plana, de: reflectància envellida 0.63, emissivitat 0.75 i SRI de 75. I per edificis de coberta amb pendent de 0.20, 0.75 i 16 respectivament. Contempla excepcions quan: es tracta de reparacions puntuals, quan la reparació no afecta a més del 50% de la coberta i si tenen integrats en coberta panells fotovoltaics
- Philadelphia, PA: Cool Roof Code [59] • Enacted: May 2010 / Effective: 2010 • Affected Property Types: All new commercial and residential construction and additions to existing buildings.
- Houston, TX: Commercial Energy Conservation Code-Cool Roofs [60] • Adopted: April 29, 2008 / Effective: August 1, 2008 • Affected Property Types: All new and existing buildings that undergo construction or additions including commercial, industrial, multi-family units of three or more, and other buildings types with the exception of low-rise residential buildings.

## ALTRES CODIS

- International Energy Conservation Code (IECC®) [61]
- ASHRAE Standards [62]
  - ASHRAE 90.1, (2007) Standard Energètic per a Edificis no residencials. En la secció 5.5.3.1.1, permet reduir l'aïllament per transmissió del sostre (transmissància) si l'edifici disposa de coberta fresca o amb un “alt albedo” Aquesta norma

defineix un sostre fresc aquell amb una reflectància solar mínim de 0,70, un emi-  
tència tèrmica mínima de 0,75, o un mínim SRI de 82.

- ASHRAE 90.2, (2007) Standard Energètic per a Edificis residencials, secció 5.6, defineix un sostre fresc com aquell que té una reflectància solar mínim de 0,65 i un mínima emi-  
tència tèrmica de 0,75, o un SRI mínim de 75. Igual que 90.1, si s'instal·la un sostre fresc es permet reduir el valor de la transmissió de la coberta. En tots dos casos, la possibilitat d'adoptar aquests criteris queden determinats per les zones climàtiques on es construeix.

- ASHRAE 189.1 (2010) Estàndard per al Disseny d'Edificis d'Alt Rendiment Energètic (excepte edificis residencials de poca alçada) Secció 5.3.2.3, fa referència a l'efecte illa de calor i determina que almenys el 75% de les zones no cobertes al voltant de l'edifici tinguin SRI inicial mínim de 78 per sostres de poca pendent, i de 29 per a sostres de molta pendent.

Altres entitats o corporacions tenen condicions diferents: [63]

Per exemple:

- El US Green Building Council's (USGBC) Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) han definit els valors per a la consideració de cobertes fresques en:

SRI	Valor inicial	Valor envellit
Coberta plana	-	78
Coberta inclinada	-	29

- El U.S. Department of Energy (DOE) ha decidit implementar, sempre que sigui possible, les cool roof als seus edificis. En aquest sentit es basa en els criteris que determina la comissió d'energia de Califòrnia (imatge 0.21), però augmenta el valor del SRI (Solar Reflectance Index) per a les cobertes inclinades i el fixe en 29 com a mínim.
- The ENERGY STAR (Programa voluntaris per la protecció del clima, estalvi energètic i econòmic) En aquest per a promoure les cobertes fresques les defineix com:

Reflectància solar mínima:	Valor inicial	Valor envellit
Coberta plana	0.65	0.50
Coberta inclinada	0.25	0.15

## COOL ROOF AL MÓN:

Com es pot deduir per les normatives, codi tècnics i ordenances fins aquest punt explicades, queda clar que els principals precursors d'aquesta estratègia són els Estats Units. Ara bé, hi ha un interès creixent a tot el món per les cobertes fresques. Son molts els països que han començat a fer estudis sobre la viabilitat de la implantació d'aquest tipus de coberta, estudiant els beneficis energètics a nivell d'edifici, la reducció de les temperatures en les grans ciutats i l'aturament de l'escalfament global que es poden arribar a assolir.

A nivell Europeu s'ha creat el recent ECRC. Veure en el punt següent.

A l'Orient ens trobem amb dos grups de països que van a velocitats diferents, aquests són els dels països d'Oceania i els del sud i sud-est d'Àsia

Per un costat hi ha el conjunt format per Austràlia i Nova Zelanda. En el cas Australià s'ha realitzat el document *South Australia's Cool Roofs Regulation, A Discussion Paper Government of South Australia*, del Desembre de 2010. Aquest, encarregat per el govern australià, fa un estudi de com podria incloure's les cobertes fresques en la política d'estalvi energètic desenvolupat per el Govern de Sud d'Austràlia. A més a més fa unes estimacions de l'estalvi econòmic i d'emissions de gasos d'efecte hivernacle que suposaria.

Especialment interessant és la tesis doctoral desenvolupada per José Castro a la University of Technology, Sydney [64]. En aquests avalua quines combinacions d'aïllaments (per reflexió i transmissió) són més eficients per tal de reduir la despesa energètica. També contrasta els programes de simulació oficials amb d'altres de més estesos com l'Energy Plus.

Per altre costat hi ha el conjunt de països formats per Japó, Xina i Índia. Aquest països durant els 28 i 29 juliol de 2011, en el marc de l'INTERNATIONAL WORKSHOP ON ADVANCES IN COOL ROOF RESEARCH que va tenir lloc a Berkeley Marina, Berkeley, California USA. I en la Sessió anomenada: *Existing cool roof standards & policies - international perspective* (Normes i polítiques existents per a les cobertes fresques- perspectiva internacional), es presentava l'estat d'implantació de les cobertes fresques en aquests països. En resum, el tret comú d'aquestes presentacions era: l'augment de construcció que es preveu en un futur pròxim, la classificació climàtica de cada un d'aquests països, l'anàlisi de tipus de cobertes existents i l'estalvi econòmic i energètic que suposa la implantació de cobertes fresques.

Aquest tres països, Japó, Xina i Índia, només per el volum de construcció actual i que poden arribar a tenir en el futur, obliga a parar-hi atenció. A més a més, potencialment és en les zones de la Xina i Índia, en constant desenvolupament, on es preveu un augment major de les superfícies ocupades per les grans concentracions urbanes.

#### 0.4.2.4. SEGELLS I ASSOCIACIONS

Existeixen al mercat, tot un seguit de segells o marques que acrediten i puntuen la sostenibilitat dels edificis. Aquests segells han incorporat l'albedo com un dels paràmetres a ser avaluats. A continuació se'n descriuen alguns d'aquests:

- El segell LEED, (acrònim de *Leadership in Energy & Environmental Design*) desenvolupat pel U.S. Green Building Council, és una eina global de projectació, avaluació i auditoria independent de la qualitat ambiental dels edificis, a partir de la valoració quantitativa mitjançant ecopunts de valors objectius i mesurables

LEED de l'efecte illa de calor: Crèdit PS 7.1 i 7.2 pàgines 42-45

<http://www.spaingbc.org/files/LEED%202009%20NC%20Nov%202008%20ESP.pdf>

**Crédito PS 7.2: Efecto Isla de Calor: Tejado**  
**1 Punto**

**Propósito**  
 Reducir las islas de calor<sup>1</sup> para minimizar el impacto en el microclima y el hábitat humano y de la fauna salvaje.

**Requisitos**  
**OPCIÓN 1**  
 Usar materiales para la cubierta con un Índice de Reflectancia Solar (IRS)<sup>2</sup> igual o mayor que los valores de la tabla que figura a continuación para un mínimo del 75% de la superficie de la cubierta.  
 Los materiales para la cubierta con un valor de IRS menor que los que figuran en la lista se pueden utilizar si la media ponderada de los IRS del tejado cumple los siguientes criterios:

$$\frac{\text{Área del Tejado que Cumple un Mínimo IRS}}{\text{Área Total del Tejado}} \times \frac{\text{IRS del Tejado Instalado}}{\text{IRS Requerido}} \geq 75\%$$

Tipo de Cubierta	Pendiente	IRS
Cubierta de Baja Inclinación	≤ 2:12	78
Cubierta de Alta Inclinación	> 2:12	29

O  
**OPCIÓN 2**  
 Instalar una cubierta vegetada que cubra al menos el 50% del área de tejado.

O  
**OPCIÓN 3**  
 Instalar superficies de cubierta de alto albedo y vegetadas que, combinadas, cumplan los siguientes criterios:

$$\frac{\text{Área del Tejado que Cumple un Mínimo IRS}}{0,75} + \frac{\text{IRS del Tejado Vegetado}}{0,5} \geq \text{Área Total Tejado}$$

Tipo de Cubierta	Pendiente	IRS
Cubierta de Baja Inclinación	≤ 2:12	78
Cubierta de Alta Inclinación	> 2:12	29

LEED 2009 PARA NUEVA CONSTRUCCIÓN Y GRAN REMODELACIÓN  
 Original en Inglés Noviembre 2008, Original en Español Octubre 2009

44

**Imatge 0.24.**

**Font:** Pagina 44, del document LEED 2009 para Nueva Construcción y Grandes Remodelaciones. Versión 3.0



- Les eines de VERDE tenen como objectiu dotar d'una metodologia d'avaluació de la sostenibilitat els edificis. Aquest funciona pràcticament igual que el LEED.

VERDE criterio A31 “Efecto de calor a la altura de la cubierta”

<http://www.gbce.es/es/pagina/certificacion-verde>

Verde al seu manual HADES (acrònim de *Herramienta de Ayuda al Diseño de Edificios Sostenibles*) a la pàgina 99, fa referència a les cobertes amb alta emissivitat i alta reflexió solar com a mesures per reduir l'efecte illa de calor i reduir la despesa tèrmica per a refrigeració

- GREEN GLOBES <http://www.greenglobes.com/home.asp> El sistema Green Globes es una eina de disseny i gestió ambiental per a la projectar edificis. Aquest ofereix un protocol d'avaluació, gestió i operació en línia,
- Built It Green's GreenPoint Rated (2010) [www.builditgreen.org](http://www.builditgreen.org) GreenPoint Rated es un program per promoure habitatges sans i de baix consum energètic .

## ASSOCIACIONS:

L'aparició de les cool roof com a estratègia en la edificació, ha fet aparèixer inevitablement, grups d'estudi, instituts de recerca i associacions per tal de desenvolupar tecnologia i assentar les bases i característiques dels productes. Aquest punt és un recull d'associacions, l'eix de les quals són les cobertes fresques.

Cool Roofs Group <http://www.coolroofs-eu.eu/> . Aquest és un grup d'estudi finançat per la Intelligence Energy Europe. A la presentació feta per Matheos Santamouris, en el marc del congrés PALENC 2010, i sota el Títol: “*The Cool Roofs Project*”, es varen anunciar els objectius principals d'aquesta associació. Es tradueixen de l'anglès els objectius descrits.

- Col·laboració al desenvolupament i millorar de la comprensió, contribució real i potencial dels sostres freds per a reduir el consum d'energia per la refrigeració dels edificis a la UE.
- Eliminació de les barreres comercials cara a i simplificar els procediments per a la integració dels sostres freds en la construcció dels edificis.
- Promoure entre els responsables polítics i els promotors l'acceptabilitat dels terrats freds.



- Difondre i promoure el desenvolupament de lleis, autoritzacions i normes relatives als sostres freds.
- Creació d'una metodologia per qualificar aquells productes que ostentin la denominació de terrats freds al mercat.
- Ampliació de la UE-CRC per incorporar altres tècniques de mitigació de calor urbà.
- Multiplicar la implementació de sostres freds en els edificis de la UE.
- Aconseguir la complicitat i comprensió dels fabricant i usuaris finals dirigits a la transformació del mercat de la UE

I dins d'aquest grup de treball es segueix tots els lliuraments que es van fent el paquet de treball WP3: Technical Aspect, En aquest paquet treballen sobre les característiques que hauran de tenir els materials de coberta que es puguin considerar freds i els valors que caldrà que compleixin en reflexió i emissivitat. Veure “The Cool Roof Material DATABASE” <http://www.coolrooftoolkit.org/>

Altres associacions, amb el mateix objectiu són:

- American Cool Roof: <http://www.coolroofs.org/>
- ECRC: European Cool Roof Council: <http://coolroofs-eu-crc.eu/>. L'autor va assistir a la primera reunió del ECRC a Brussel·les el dia 16 de gener de 2012. En aquesta s'hi van tractar temes de com:
  - oportunitats a les cobertes fredes,
  - com legislar
  - com mesurar i garantir els índex de reflexió i emissivitat.
- Una altre associació de caràcter més popular i activista és el *White Roof Project*. Aquesta associació es dedica a promoure les cobertes blanques des de l'acció, actuant en cobertes dels estats units. També poden ser seguits al Facebook i al Twiter, on informen puntualment de totes les accions que van duent a terme <http://www.whiteroofproject.org/partners>
- *The Heat Island Group at Lawrence Berkeley National Laboratory* aquest grup treballa amb materials frescos per tal de ser implementats en cobertes, ciutats o vehicles per tal que aquests s'escalfin menys sota la radiació solar. <https://heatisland.lbl.gov/>

Sembla que en tot el mon, i en especial en les zones més càlides, hi ha un interès creixent per tal d'utilitzar materials que ajudin a frenar l'escalfament global, tan des de l'estalvi energètic com des de la reducció de l'efecte illa de calor en les gran ciutats. Donat que ha estat provat que els materials “frescos” aconseguen aquest propòsit, la promoció, legislació i acreditació d'aquests es absolutament necessària.

Com a conclusió, es pot afirmar, que les cobertes i els materials frescos (entenent tan els materials de coberta, com tots aquells que cobreixin zones naturals: paviments, asfalts...) tindran un paper cabdal en la construcció dels propers anys. Faltaria contestar en quin grau, a Catalunya, i concretament a l'àrea Metropolitana de Barcelona, serem capaços d'implementar-los. Respondre als possibles entrebancs que hi podem trobar en el futur, és part del contingut d'aquesta tesi. I les respostes es formulen, tant des de l'anàlisi de la documentació existent, com des de els resultats obtinguts amb les mostres de materials que s'han tingut exposades a condicions climàtiques reals.

#### **0.4.3. INSTAL·LACIONS SIMILARS. REFERENTS PER LA CAMPANYA EXPERIMENTAL.**

*“Lo que no se define no se puede medir. Lo que no se mide, no se puede mejorar. Lo que no se mejora, se degrada siempre” . Lord Kelvin*

Aquest treball s'ha realitzat en dues vessants; una teòrica i una pràctica.

Per a la pràctica es preveia fet mesuraments de temperatura sobre acabats de coberta diferents. Prèviament a definir com havien de ser i com s'havien d'executar aquestes mesures l'autor es va instruir i formar per garantir que les mesures i la plataforma sobre les que es feien, garantissin validesa.

A aquest efecte es varen visitar, les següents instal·lacions les quals permetien testar comparativament materials exposats a condicions atmosfèriques reals:

- Centre GREA Innovació Concurrent de la Universitat de Lleida (UdL): Disposa d'una instal·lació experimental de solucions constructives a Puigverd (Segrià). L'inici de la instal·lació va començar el 2004 amb dues cel·les, actualment ja en té 21 i és el més gran d'Europa. L'objectiu d'aquest equipament científic és optimitzar l'eficiència energètica dels edificis. Cada cel·la està feta amb diferents materials, sistemes constructius i revestiments per comparar-ne l'eficiència. Dins de cada cel·la hi ha un termòstat que, mitjançant una bomba de calor, manté la temperatura interior constant. El consum de cada bomba de calor té un comptador independent. Així cada cel·la té comptabilitzat el consum energètic. La directora del GREA és la Doctora Lluïsa Cabeza.

La visita a aquesta instal·lació i la demostració del seu funcionament, va aclarir molts conceptes que posteriorment han estat bàsics: situació de les sondes en les cel·les, comprovacions per validar les cel·les, utilització de dades de meteorològiques com a variables complementàries...

Evidentment, les possibilitats reals d'aquesta tesi doctoral no passen per la construcció d'una plataforma com la de Puigverd, però sí que es prengué aquesta instal·lació com a referent.

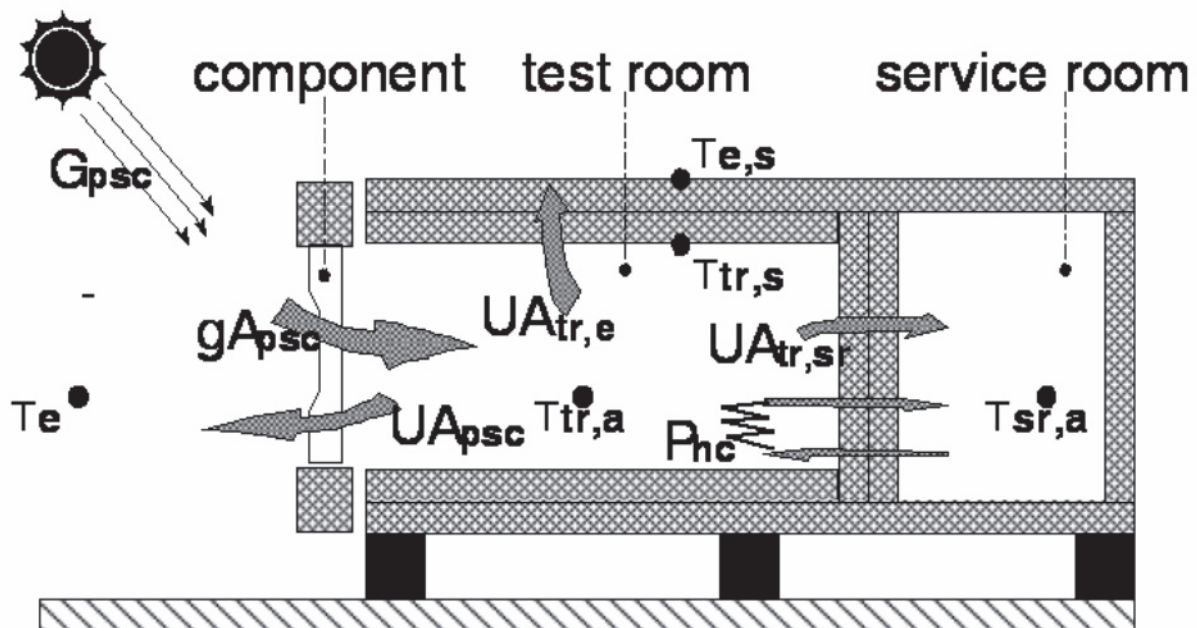
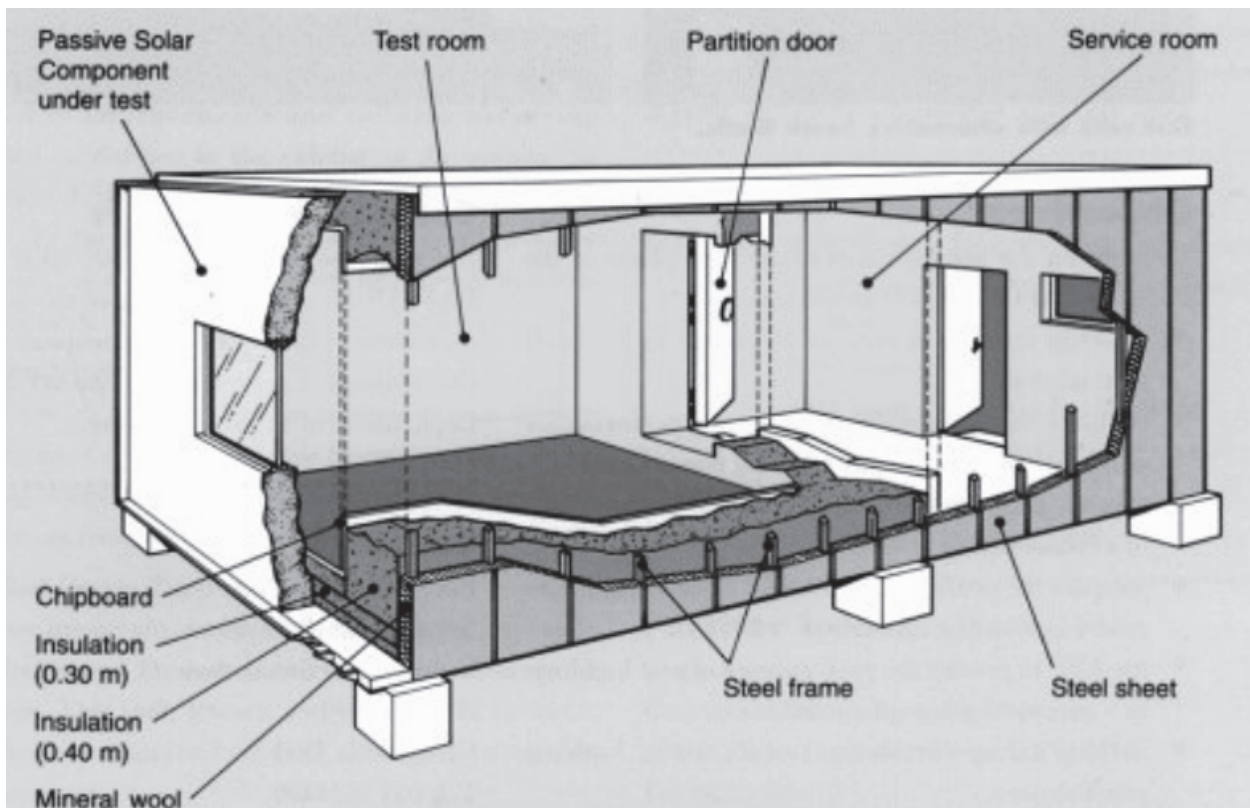


**Imatge 0.25.** Panoràmica de la instal·lació de Puigverd

**Foto:** OMR

- Cel·les PASLINK cel·les normalitzades per a testar façanes [65]. Les cel·les paslink, es un sistema normalitzat per testar façanes sota condicions climatològiques reals. Aquesta es una experiència concebuda per disposar d'una plataforma a nivell global de cara a poder avaluar façanes o parts d'aquestes. L'objectiu d'aquest sistema es estandarditzar aquest model per tal de poder disposar d'un sistema d'avaluació de qualsevol tipus de façana o component sota uns mateixos paràmetres.

*“Las células de ensayo PASLINK, son una reconversión de unas células de ensayo que fueron fabricadas en serie durante el proyecto Europeo PASSYS. El proyecto PASSYS consistió en diseñar un procedimiento estandarizado para la caracterización de componentes constructivos usados en la edificación. Este método debía ser capaz de caracterizar muros (el valor del coeficiente global de transmisión del calor  $U \cdot A$ ) y ventanas (el valor de la ganancia solar  $g$ ). Los ensayos se realizaban bajo condiciones reales, esto es, las células de ensayo se encontraban en el ambiente exterior.” [66].*



Imatge 0.26.

Figure 1. The PASSYS test facility.

Figure 2. Schematic view of the heat balance in the PASSYS test cell

Font: PASLINK AND DYNAMIC OUTDOOR TESTING OF THERMAL AND SOLAR PROPERTIES OF BUILDING COMPONENTS

Els requeriments i complexitat de les cel·les PASSLINK distaven molt de les possibilitats d'aquest estudi. Malgrat tot, el concepte de cel·la aïllada sotmesa a condicions atmosfèriques reals, la situació de les sondes en la cel·la així com l'anàlisi dels valors obtinguts, seran de suma interès per a experiències realitzades en aquest estudi.

- Tesis Doctoral de M<sup>a</sup> del Carmen Giménez Molina, Arquitecta. Univesidad Politécnica de Madrid [67]. (imatge 0.27)

En aquesta tesi Doctoral es desenvolupen uns assajos amb diferents tipus de vidre. Per a portar-los a terme la doctorand va utilitzar uns mòduls cúbics en els quals, en una de les cares hi havia el sistema a testar. La resta de les cares tenien les mateixes característiques.

Les experiències d'aquesta tesi Doctoral, així com la metodologia utilitzada han servit de suport per al present estudi. El sistema de comparació, a partir d'un material base, de propietats físiques conegudes, a partir del qual es modifica o es compara amb altres materials. Per tan els resultats sempre seran relatius a aquest material de referència.

A més a més, l'escala i materials de la cel·la, així com els resultats obtinguts per la doctorant, s'aproximen als que es faran servir en aquest estudi.



**Imatge 0.27.**

**Font:** Tesis Doctoral de M<sup>a</sup> del Carmen Gutiérrez Molina. Imatge del assajos preliminars.

- Comparación del comportamiento térmico de tres cubiertas: láminas de reciclado tetra pak, láminas de fibrocemento y teja de barro. [68]

Aquest article compara diferents acabats de coberta en unes construccions a dimensió real. La similitud de l'experiència, del sistema constructiu a estudiar i la metodologia que es van utilitzar han servit de model per el present estudi.

Especialment útil ha estat la descripció de com i on posar les sondes de temperatura per tal que aquests detectin únicament la temperatura de l'element que es desitja avaluar, ja sigui una superfície o la temperatura de l'aire.



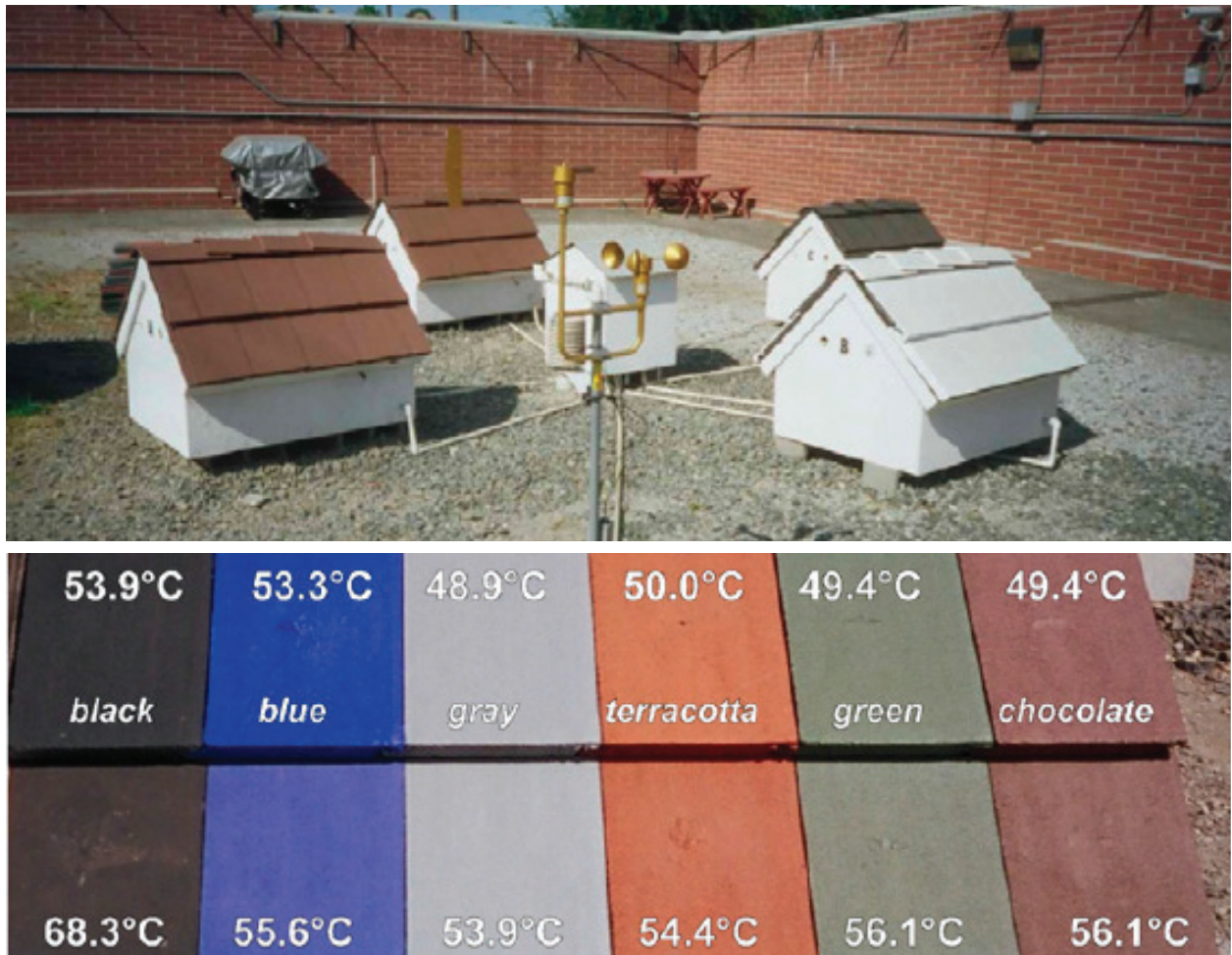
**Imatge 0.28.** Implantació de les cel·les experimentals.

**Font:** Comparación del comportamiento térmico de tres cubiertas: láminas de reciclado tetra pak®, láminas de fibrocemento y teja de barro

- Instal·lació, situada a Riverside (sud Califòrnia). En aquesta, amb cel·les (maquetes d'habitatges a escala 1:10, veure imatge 0.29) motoritzades, es fa un estudi per quantificar les reduccions energètiques per aire refredar [69].

La instal·lació consta de quatre cel·les. Cada una es coberta amb un material diferent: una amb teules blanques, una amb teules negres i les altres dues amb teules de color, però una d'elles pigmentades amb un cool color. Les sondes estan col·locades en la cara superior i inferior de l'acabat de coberta, a la zona de els “golfes” i a l'interior de la maqueta. A més a més, la instal·lació disposa d'un sistema per a climatitzar i un termòstat a l'interior. A partir de les dades obtingues en les cel·les amb teules de colors es comparen amb les obtingues en les cel·les cobertes amb teules blanques i negres (acabats de referència). Amb aquestes dades s'extrapola per a obtenir els potencials estalvis en climatització.





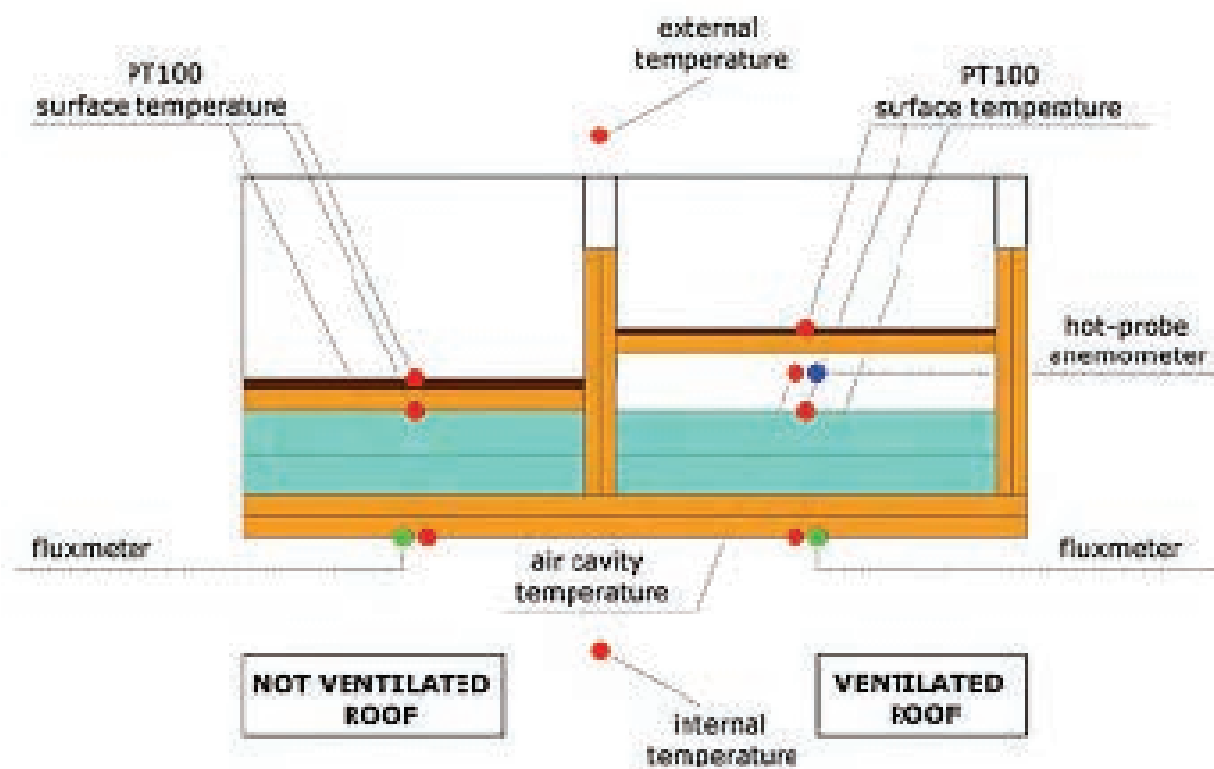
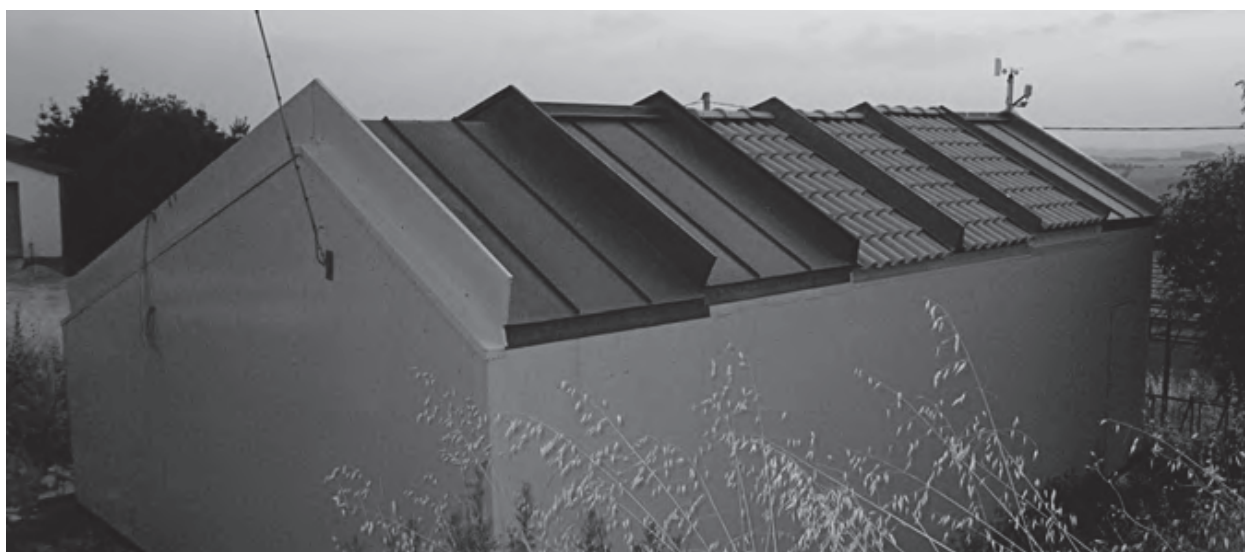
**Imatge 0.29.**

Superior: Imatge de les quatre cel·les

Inferior: Materials testats, en la fila superior els materials amb cool pigments i inferior amb pigments convencionals.

**Font:** Article: Ronnen Levinson, Hashem Akbari, Joseph C. Reilly Cooler tile-roofed buildings with near-infrared-reflective non-white Coatings.

- I per últim, una instal·lació, també amb cel·les monitoritzades, per a realitzar una investigació, que malgrat no és sobre cobertes fresques, l'objectiu és analitzar diferents solucions constructives de cobertes utilitzades en climes càlids. Aquesta estudi, pretén esbrinar si sobre aïllar és una bona solució en les zones sud d'Itàlia [70]. L'estudi es va portar a terme durant dos anys.



**Imatge 0.29.**

Superior: Imatge de les cel·les test

Inferior :esquema de la posició dels sensors en les cobertes. Esquerra no ventilada, dreta amb cambra ventilada

**Font:** Article: M. D'Orazio, C. Di Perna, E. Di Giuseppe The effects of roof covering on the thermal performance of highly insulated roofs in Mediterranean climates



Aquests dues últimes investigacions han estat primordials per definir la dimensió i color de la cel·la, la col·locació de es sondes, així com la metodologia de treball, o l'exposició de les dades obtingudes i la redacció de conclusions.

El ventall de les instal·lacions de testegi de materials és prou ampli. No cal dir que les possibilitats econòmiques concretes de cada organització faran que les condicions siguin unes o altres. A nivell d'investigació bàsica, la majoria de comprovacions són a escales molt petites, amb un nivell de fiabilitat alt, però amb la recança de poder passar-ho a escala real.

En canvi, en instal·lacions amb finançaments importants, tan per part d'administracions com per empreses privades, el grau de precisió dels equips, les condicions de treball i obtenció de dades, així com el grau de fiabilitat són molt més elevats (i lògicament també molt més exigents).

Per últim hi ha el sistema normalitzat de paslink. Aquest, per l'exigència del mòdul i la complexitat de construcció i avaluació, queda molt allunyat de les possibilitats reals d'aquest estudi

Com a conclusions extretes de les plataformes analitzades, es dedueix, que:

- Com més similar sigui la cel·la a una estança real, més fiabilitat tindrà l'estudi.
- Cada cel·la ha d'estar en condicions idèntiques (o el més semblant possibles). Per tant caldrà evitar que les ombres d'unes actuïn sobre les altres.
- Treballar simultàniament amb cel·les iguals i diferents materials, proporciona l'avançatge de tenir les mostres en condicions climàtiques idèntiques. Caldrà però garantir que cada una de les cel·les es comporti i tingui les mateixes condicions que la resta: estanquitat, aïllament, assolellament...

Tots aquests coneixements, no deixen de ser interessants també per el que serà la fase final de l'estudi: l'aplicació d'una coberta fresca en un edifici real.

Així s'analitzen experiències dutes a terme en edificis reals [71]: situació de les sondes, gràfiques per mostrar resultats, conclusions... Els autors C. Romeo, M. Zinzi [72] tenen experiències fetes a Sicília en les quals mesuren, avaluen i acaben creant un model numèric, per tal de a partir de simulacions informàtiques poder predir el comportament i consums d'un edifici abans i després d'haver-hi implementat una coberta fresca.

#### 0.4.4. CONEIXEMENTS INDUSTRIALS I TÈCNICS ESSENCIALS

Aquest punt es un compendi sobre aquells temes els quals ha estat bàsic aprofundir per portar a terme aquest estudi. A vegades els coneixements tenen una relació directe amb les cobertes, altres amb els materials o amb aquells qui els produeixen.

En aquesta fase es tracta de documentar-se del que existeix al nostre entorn que puguem relacionar amb les cobertes fresques. Els tres àmbits d'estudi que es van abordar foren:

1. Els tipus de coberta plana més comunament utilitzats en la nostra àrea geogràfica. Posant especial interès en la última capa de coberta, ja que és aquesta la que determina la reflexió solar i emissivitat.
2. Els productes existents al mercat (membranes, pintures, pigments...), els quals ja utilitzin la reflexió com a argument comercial.
3. Planejar possibles aliances entre acabats de coberta utilitzats i productes del mercat, de forma que la unió d'ambdós creï un nou material de coberta més eficient que el primer.

En el punt 1, es detecta que en el nostre entorn i en especial a la ciutat de Barcelona hi ha una gran majoria de cobertes les quals són acabades amb ceràmica. Com que l'estudi es farà sempre per comparació amb altres materials, es decideix que aquest serà el material de referència, a partir del qual, s'establiran millores. Altres materials cada cop més utilitzats són el formigó porós, les graves,...

El rastreig del mercat (punt 2), denota que existeixen empreses que basen la seva estratègia de venda d'alguns productes, justament en reflexar la radiació solar. Aquests majoritàriament són pintures, tan per materials d'origen terròs com metàl·lics. També es localitzen pigments, els quals permeten reflexar un alt percentatge d'infraroig, aconseguint colors, els quals es mantenen a temperatures inferiors que els seus homòlegs realitzats amb pigments convencionals. Per últim es detecten també membranes de colors molt clars amb l'objectiu de reflexar un alt percentatge de radiació solar.

Actualment els recursos de pigmentació de les superfícies, amb materials d'origen, orgànic o inorgànic, que ofereix la indústria química són summament nombrosos. Cal veure com es poden aprofitar aquests recursos per a l'objectiu que planteja aquesta recerca.

Amb la generació de nous pigments, podríem tenir vermells més freds que els vermells que ja coneixem? podríem aprofitar alguns materials de rebuig de la construcció (runa) simplement com a suport de productes de revestiment altament reflectants i per tant valoritzar residus?.

I com a objectiu final: es podria disposar d'una gamma de productes per al revestiments dels terrats que no s'escalfessin amb la radiació solar? Com es podrien aplicar aquests nous productes de revestiment als materials existents per a terrats?.

Actualment els materials de pigmentació, per tal de ser actius, es poden incorporar al material d'acabats dels terrats de la següent manera:

- En massa, barrejant pigments reflectants amb la massa dels materials dels productes quan es fabriquen: cal vigilar que els processos de fabricació (cocció, laminació, assecat, etc.) no facin malbé aquests pigments. L'eficiència final d'aquests pigments serà probablement baixa perquè bona part del pigment resta inactiu i ocult dins la massa del material. Cal incidir que la reflexió i emissivitat són característiques físiques de la superfície del material. Per contra el producte final presenta un aspecte comercial natural i poc calorejat.
- Tractament a fàbrica sobre la superfície del material exposada a la radiació. La major part dels productes manufacturats actualment són revestits a fàbrica per atendre les modes i els gustos del mercat: s'estampen tèxtils, s'imprimeixen làmines, es laquen metalls o s'esmalten ceràmiques.
- Aplicació sobre la superfície exposada a la radiació realitzada a peu d'obra: molts elements de la construcció encara es revesteixen a peu d'obra: enguixats, estucats, arrebossats, pintats... Això és particularment habitual quan es parla de rehabilitació o restauració.

El que és evident, que sobre un ventall de possibilitats, emmarcats en la reflexió de la radiació solar a base de treballar amb les superfícies dels materials d'acabat.

El punt 3, justament intentarà unir els coneixements dels primers dos punts. Podem pintar una coberta ceràmica amb una pintura altament reflectant? Genera incompatibilitats? Millora l'emissivitat? Podem fer-ho amb el formigó porós? Què passa si obturem el porus?. O, es possible esmaltar la ceràmica amb els pigments selectius? Que passa quan els sotmetem a altes temperatures? Podríem barrejar-los en la massa?. Seria possible, transformar un material de rebuig, tipus formigó, ceràmica o vidre triturat, amb un acabat de coberta fresca? I per últim, en quin grau afecta la morfologia superficial de la peça per tal d'evacuar calor?

Per respondre totes aquestes preguntes cal un profund coneixement, tan dels materials base, com dels productes generats per la indústria, com de les propietats físiques de tots dos. I qui millor que els mateixos industrials per comprendre, tan de materials de construcció com de productes industrials. És per això que tot l'últim punt (num 3) s'ha realitzat conjuntament amb aquests actors, els

quals han aportat un coneixement valuósíssim i indispensable. Ha estat absolutament necessari el treball en equip entre el productor del material constructiu, la indústria del nou recobrint i el tècnic. I ha sigut a partir d'aquesta associació que han aparegut materials i/o solucions, l'eficiència dels quals queda avaluada en capítols posteriors

## 0.5. METODOLOGIA

En el capítol anterior s'ha fet un apropament al coneixement de les cobertes fresques, als grups d'estudi que hi treballen i a associacions que les regulen. A més a més, s'ha aprofundit sobre mètodes i instal·lacions per testar materials de construcció, i s'ha arribat al convenciment, que cal sotmetre'ls a condicions reals per tal d'avaluar-ne el seu comportament.

Aquest treball pretén provar que les cobertes fresques serien una bona estratègia en l'àmbit de Barcelona, per extensió tota la costa mediterrània i bona part de la península Ibèrica. I no ho pretén des de un pla exclusivament teòric, a base de simulacions informàtiques –estudi que ja ha estat realitzat [41]– si no des de un pla empíric, provant els materials comunament utilitzats per les cobertes. I més enllà d'això l'objectiu és acabar provant una coberta fresca en un edifici real.

Donat aquest planteig inicial i gràcies als coneixements obtinguts de la documentació prèvia estudiada, hi ha l'anhel d'observar que passa amb materials exposats a condicions climàtiques, donar resposta al comportament de cicles anuals o cicles dia-nit. A avaluar quin efecte té la pol·lució i la brutícia sobre els sostres...

Per resoldre aquestes qüestions, sembla que la forma més adequada és l'observació, seguint i mesura sistemàtica de mostres exposades a condicions reals. A més a més l'últim estadi del treball, tal i com s'ha dit, pretén implementar una solució concreta en un edifici real, i demostrar les virtuts de les cobertes fresques, així com la possibilitat de repetir la solució en d'altres edificis o altres solucions de coberta.

Cal dir, a més a més, que l'enfocament del treball és des del punt de vista i inquietuds de l'arquitecte, més interessat en l'aplicabilitat i replicabilitat, el confort als edificis o la formalització de les cobertes resultants, que en l'avaluació precisa dels coeficients de reflexió i/o emissivitat.

Ja des de els inicis del treball es proposava un quadre cronològic on s'especificaven les fases fins ara anomenades <sup>3</sup>. L'ordre de les feines previstes i que s'han dut a terme ha estat el següent:

---

<sup>3</sup> Cronologia adjuntada de la memòria per a la CONVOCATÒRIA D'AJUTS DE PROJECTES DE MILLORA AMBIENTAL 2010. OBRA SOCIAL I CULTURAL DE CAIXA TERRASSA . Autor O. Muntané Data: maig 2010.

*\* Cal esmentar que hi ha hagut algunes variacions i el treball s'ha prolongat en el temps més del que s'havia previst. Apuntar també, que aquesta primera taula cronològica, no contemplava la implementació en un edifici real.*

FASE	DESCRIPCIÓ DELS TREBALLS	TEMPS (set)
F-0	Revisió dels tipus de cobertes existents, i determinació dels cinc tipus a estudiar, segons els criteris següents; necessitat de freqüents reparacions, curta vida útil, mala funcionalitat, difícil compatibilitat amb requeriments actuals, desconfort, patologies....	8s
F-1 i 2	Anàlisi teòric dels models elegits: Definició de totes las capes que componen la coberta. Variants. Estudi del comportament higrotèrmic del model. Anàlisi de les patologies, propostes de millores. Anàlisi (càlcul teòric) de la reflexivitat, emissivitat i transmissió de calor del material d'acabat de la coberta i del conjunt de la solució.	20s
F-3	Medicions dels models en laboratori i comparacions dels resultats obtinguts en l'anàlisi teòric anterior. (aquesta fase dependrà dels medis per a l'ús d' instruments més o menys sofisticats). Justificació dels resultats Experimentació amb acabats similars para cada tipus de coberta per a millorar el seu comportament general i especialment a la reflexió de la llum solar. Els canvis no variaran substancialment ni l'aspecte ni el funcionament para el que va ser projectada.	22s 5 s
F-4	Segons resultats obtinguts en cada cas es corroborarà en situacions reals (coberta ETSAV – Sant Cugat del Vallès). Es recolliran les condicions climatològiques del dia i els resultats obtinguts. Si els resultats són els esperats segons experimentació en laboratori, es passarà a la definició del modelo de coberta (amb totes les capes necessàries, des de el forjat fins la capa del material d'acabat) segons les millores plantejades en la F-3 i següents comprovacions. Si els resultats no son los estimats realitzarem noves proves en laboratori.	6s
F-5	Construcció dels 5 models . Aquests models es construiran sobre un cub d'aprox. 1m3 del que se determinaran las transmitàncies de 5 de les seves 6 cares. La sisena cara se completarà amb el model de coberta que es vol provar. Si la coberta és inclinada es podria deformar el cub. Las variables mínimes que interessaria recopilar són: Variacions de temperatura a l'interior del cub Variacions de temperatura a l'exterior del cub Hores de asolellament diari Temperatura superficial superior i inferior de l'acabat de la coberta	10s 50s*
F-6	Redactat de conclusions. Definició de millores. Definició dels tipus de cobertes. Caracterització de tots els acabats de coberta estudiats (tradicionals o no) i catalogació segons el grau de reflexió a la llum solar. Estimacions de millores en el medi ambient, centrat en l'àmbit de Barcelona ciutat, si s'aconseguís millorar l'albedo de las cobertes segons resultats obtinguts.	4s
	TOTAL DURACIÓ DEL PROJECTE	125s

Tal i com és pot llegir en el quadre cronològic, ja es defineix quina pretén ser la filosofia d'aquest treball. Els punts següents expliquen més detalladament quines tasques s'han executat en cada fase.

#### 0.5.1. EXPERIMENTAL: CEL·LES PAUS I ALGECO

Tal i com s'ha expressat hi ha la voluntat de fer una investigació primordialment pràctica, mesurable i accessible. Previ a la elaboració d'aquest treball es va realitzar un treball de camp (capítol 3) mesurant temperatures de cobertes.

Posteriorment per tal de sotmetre els materials a condicions climàtiques reals i avaluar com afecta a l'espai inferior a la coberta. S'han aconseguit unes cel·les de proves –cel·les PAUS, veure capítol 4-. Per ala fase fina de l'estudi es va implementar solucions sobre edificacions modulars –mòdul ALGECO, veure capítol 5-.

Així les tasques desenvolupades foren:

1. Construir o cercar una plataforma, dotar-la de sensors i disposar d'una base on col·locar el material a avaluar de forma que permeti monitoritzar el comportament del materials.
2. Investigar com i on col·locar els sensors tèrmics per tal de tenir dades fiables i que no siguin distorsionades per variables incontrolades.
3. Trobar una font d'on obtenir dades de climatologia necessàries: temperatura, intensitat de radiació solar, força i direcció del vent, precipitació...
4. Generar hipòtesis de comportament, recollir les dades dels sensor i de clima i realitzar gràfics per tal d'avaluar el comportament de cada un dels materials.

Per al plantejament del punt 1 fou primordial la recerca feta sobre plataformes per a testar comportament de materials constructius (descrita en el punt anterior d'aquesta memòria). Aquesta contempla des de cel·les de dimensions semblants a un edifici real (Puigverd a Lleida o les cel·les Passlink), fins a caixes de proves de 0,5x0,5x0,5m.

La primera idea (tal com descriu la cronologia a l'inici del capítol) era construir unes cel·les cubiques de un metre d'aresta. Finalment el col·lectiu PAUS de la Escola Tècnica Superior d'Arquitectura del Vallès (ETSAV), va oferir les seves cel·les, de 2,20m de costat, essent aquestes gairebé de dimensions reals, i per tant amb resultats molt més propers a la realitat. Al capítol 4 hi ha una descripció exhaustiva d'aquestes cel·les.

Per al punt 2 foren clau les converses amb en Antoni Isalgué, Jordi Cipriano i Jordi Pascual. Els consells per trobar el tipus de sonda i data logger (registrador de dades), de com i on posar les sondes per tal de mesurar exactament la temperatura del que es pretén, varen ser essencials. Finalment es determina que hi ha d'haver tres sensors per caixa:

- un sobre el material, però protegit de la radiació directe amb un material altament reflectant.
- un sota el material, per tal de saber com es transmet la calor a l'interior de la peça avaluada.
- I un a l'interior de la cel·la, que mesuri la temperatura a l'interior de la cel·la. Segons converses, aquest, ha d'anar protegit per evitar distorsions per la radiació emesa per els tancament no avaluats (en el nostre cas pretenem que el sensor mesuri la temperatura ambient sens afectació de la radiació emesa per els tancaments verticals). Finalment es decideix pintar els tancaments verticals de blanc, de forma que es minimitzi la captació de radiació solar per part d'aquest.

Després de més de dos anys de proves amb diferents materials sobre les cel·les PAUS, va ser necessari cercar la complicitat d'un nou actor que permetés utilitzar sobre un edifici real de la seva propietat els materials fins llavors estudiats. Aquest fou l'empresa de construccions modulars ALGECO. El capítol 6 d'aquesta document descriu tot el procés i estudi que es van dur a terme sobre els mòduls d'aquesta empresa. Els coneixements i aprenentatges (encerts i errors) obtinguts sobre els mòduls PAUS van ser bàsics per assolir l'èxit en les proves efectuades sobre els mòduls prefabricats.

### 0.5.2. SIMULACIÓ NUMÈRICA

L'última fase de l'estudi es conseqüència de les anteriors. Es tracta d'utilitzar les dades tèrmiques obtingues de forma empírica per calibrar un programa de simulació tèrmica i així aquest ens pugui aportar resultats el més fiables possibles.

Amb aquest programa es podran fer fàcilment cicles anuals, estudiar la incidència de la inèrcia tèrmica o de diferents sistemes de climatització. També permetrà quantificar l'estalvi energètic.

I més enllà d'això, la garantia d'haver calibrat el programa de simulació amb dades reals, permetrà simular quina incidència tindria una coberta fresca en edificis de característiques diferents.



De totes maneres, hi ha casuístiques que difícilment mai les podrà contemplar un programa de simulació: com afecte, per exemple, la pluja en el comportament de la coberta? Quina millora en la reflexió pot arribar a tenir el fet que l'aigua de precipitació netegi lleugerament la coberta? I si el material és porós, quin efecte té l'evaporació de l'aigua sobre el comportament tèrmic de l'edifici? O bé com calcular l'envelliment i embrutiment que pateixen tots els materials?

L'arquitectura no permet fer prototipus a escala real abans de realitzar l'edifici definitiu, el que seria la millor manera per valorar el comportament tèrmic de la construcció. És per això que, la fiabilitat d'un programa de simulació creixerà si el comportament dels materials han estat prèviament calibrats amb resultats obtinguts fruit de mesures realitzades en condicions totalment reals.

A més a més, una de les bondats d'aquest estudi, és haver obtingut dades durant un període de temps tan dilatat. Això ha permès observar quina pèrdua d'eficàcia tenen els material amb el pas del temps, degut a l'envelliment o a l'acumulació de pols en la seva superfície.

## REFERÈNCIES

- [1] Pisello A, M. Santamouris i F. Cotana, «Active cool roof effect: impact of cool roofs on cooling system efficiency,» Cyprus Published online 20, Dec 2013..
- [2] «<http://www.smh.com.au/federal-politics/political-opinion/lifes-a-bitumen-nightmare-as-cities-get-hotter-than-hell-20100214-nzb6>,» [En línia].
- [3] G. Díez, F. Maña i A. Cuchí, La cubierta captadora als edificis d'habitatges, 202.
- [4] «<http://www.plataformaptec.es/ver-noticia.php?id=473>,» [En línia].
- [5] «[http://elpais.com/diario/2002/05/24/sociedad/1022191206\\_850215.html](http://elpais.com/diario/2002/05/24/sociedad/1022191206_850215.html),» [En línia].
- [6] «<http://www.agenciasinc.es/Noticias/Las-zonas-artificiales-han-aumentado-en-Espana-un-52-en-20-anos>,» [En línia].
- [7] J. Avellaneda, Tesis Doctoral: MEDIO AMBIENTE, COMPORTAMIENTO Y DURABILIDAD DEL CERRAMIENTO, 1982.
- [8] ATLES DE RADIACIÓ SOLAR A CATALUNYA. GENERALITAT DE CATALUNYA, Departament d'Indústria Comerç i Turisme Institut Català d'Energia,.
- [9] P. L. Roche, «Calculating green house gas emissions for buildings: analysis of the performance of several carbon counting tools in diferent climates,» Informes de la Construcción, vol. Vol. 62, pp. 61-80,, 2010.
- [10] The Energy Performance of Buildings Directive 2010/31/EU.
- [11] « <http://www.roadmap2050.eu/attachments/files/EnergySavings2020-FullReport.pdf>,» [En línia].
- [12] COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT AND THE COUNCIL Energy Efficiency and its contribution to energy security and the 2030 Framework for climate and energy policy, Brussels, 23.7.2014 .
- [13] Estrategia de ahorro y Eficiencia Energética en España (E4) 2004-2012, , «<http://www.idae.es/index.php/id.67/relnenu.333/mod.pags/mem.detalle>,» 28.11.2003. [En línia].

- [14] «[http://www.magrama.gob.es/es/cambio-climatico/publicaciones/documentacion/plan\\_med\\_urg\\_tcm7-12480.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/cambio-climatico/publicaciones/documentacion/plan_med_urg_tcm7-12480.pdf),» [En línia].
- [15] M. Zinzi, « Cool materials and cool roof. Potentialities in Mediterranean buildings. »,» Advances in buliding energy research, vol. Vol 4, 2010.
- [16] E. Bozonnet, M. Doya, F. Allard, «Cool roofs impact on building thermal response: A French case study,» Energy and Buildings, vol. 43, pp. 3006-3012, 2011.
- [17] M. Kolokotroni, B.L. Gowreesunker, R. Giridharan. , «Cool roof technology in London: An experimental and modelling study,» Energy and Buildings , vol. 67, pp. 658-667, 2013.
- [18] Aguilar, J.L.C., Smith, G.B., Gentle, A.R. & Chen, D., «Making cool roofs compatible with low heating and cooling loads,» Fuelling the Future: Advances in Science and Technologies for Energy Generation, Transmission and Storage., 2012.
- [19] «<http://www.zedfactory.com/>,» [En línia].
- [20] «<http://news.stanford.edu/news/2014/november/radiative-cooling-mirror-112614.html>,» [En línia].
- [21] «<http://newsroom.uts.edu.au/news/2015/05/super-cool-roof-solution-being-hot-city>,» [En línia].
- [22] IDAE, PLAN DE ACCIÓN 2008 - 2012, Julio 2007.
- [23] Albert Cuchí, Anna Pagès, Sobre una estrategia para dirigir al sector de la edificación hacia la eficiencia en la emisión de gases de efecto invernadero (GEI). Informe realizado por el profesor.
- [24] «[http://www.coac.net/mediambient/renovables/energia\\_renovables/atlas\\_radiacio\\_solar\\_catalunya.htm](http://www.coac.net/mediambient/renovables/energia_renovables/atlas_radiacio_solar_catalunya.htm),» [En línia].
- [25] Código Técnico de la Edificación (CTE). Ley 38/1999 de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación (LOE).
- [26] M. Zinzi, S. Agnoli, «Cool and green roofs. An energy and comfort comparison between passive cooling and mitigation urban heat island techniques for residential buildings in the Mediterranean región,» Energy and Buildings, vol. 55, 2012.

- [27] Ministerio de Economía y Hacienda, «<http://www.codigotecnico.org/index.php/menu-salubridad>,» [En línea].
- [28] R. S. Florensa, *Les Energies A L'Arquitectura*, Edicions UPC.
- [29] Documento Básico HS Salubridad, «<http://www.codigotecnico.org/index.php/menu-salubridad>,» [En línea].
- [30] T. Batlle i F. Pich-Aguilera, «Revitalización de antiguos cuarteles a partir de un nuevo espacio climático. Criterios para la reducción de la demanda energética.,» *Informes de la Construcción*, vol. Vol. 62, núm. 517, pp. 113-124, 2010.
- [31] DE LA VARGA, Meritxell *CENTRE TECNOLÒGIC LEITAT, Polímers termocròmics*.
- [32] «Cool roof coating: Mechanism kept under wraps,» [En línea]. Available: <https://www.sciencenews.org/blog/scene/cool-roof-coating-mechanism-kept-under-wraps>.
- [33] Geoffrey B. Smith, Claes-Goran S. Granqvist, *Green Nanotechnology: Solutions for Sustainability and Energy in the Built Environment* SBN 9781420085327, CRC Press, 2010.
- [34] «Un exemple de material auto netejable,» [En línea]. Available: <http://www.fym.es/ES/Nuestros+Productos/Hormigones/Fichas+Hormigon/TX+Aria.htm> .
- [35] H. Akbari, « “Cool Color Project: Improved Materials for Cooler Roofs”. The Cool Colors Project,» [En línea]. Available: <http://coolcolor.lbl.gov/> .
- [36] R. Levinson, H. Akbari i J. C. Reilly, «Cooler tile-roofed buildings with near-infrared-reflective non-white coatings,» *Building and Environment* , vol. 42, p. 2591–2605, 2007.
- [37] H. Akbari, A. Rosenfeld i S. Menon, «Global cooling: increasing world-wide urban albedos to offset CO<sub>2</sub>,» *Climatic Change*, pp. 275-286, 2009.
- [38] Hashem Akbari. Heat Island Group. Lawrence Berkeley National Laboratory, «Energy Saving Potentials and Air Quality Benefits of Urban Heat Island Mitigation,» 2001.
- [39] T. Karlessi, Santamouris, M, Apostolakis, K, Synnefa, A. i Livada, I, « Development and testing of thermochromic coatings for buildings and urban structures.,» *Solar Energy*, pp. 538-551, 2009.

- [40] M. Zinzi, G. Fasano i E. Manilia., «Properties and performance of an innovative reflective painting to reduce the cooling loads in buildings and mitigate the heat island effect in urban areas,» de 2nd PALENC September 2007, . 2nd PALENC September 2007.
- [41] S. Boixoa, M. Diaz-Vicente, A. Colmenarc i M. Castro, «Potential energy savings from cool roofs in Spain and Andalusia,» *Energy*, vol. 38, pp. 425-438, 2012.
- [42] [En línia]. Available: <http://web.ornl.gov/sci/roofs+walls/facts/CoolCalcEnergy.htm>.
- [43] A. Synnefa, A. Dandou, M. Santamouris i M. Tombr, «Cool colored coatings for passive cooling of cities,» de International Workshop on Energy Performance and Environmental, Milos island, Greece , 2006.
- [44] Synnefa A, T. Karlessi, N. Gaitani i M. Santamouris, «Experimental testing of cool colored thin layer asphalt and estimation of its potential to improve the urban microclimate,» *Building and Environment* , vol. 46, pp. 38-44, 2011.
- [45] A. Pisello, F. Cotana i Nicolini, «Development of Clay Tile Coatings for Steep-Sloped Cool Roofs 2013,» *Energies*, vol. 6, pp. 3637-3653, 2013.
- [46] R Levinson, H. Akbari, i J. Reilly , «Cooler tile-roofed buildings with near-infrared-reflective non-white Coatings. 2006,» *Building and Environment*, vol. 42, p. 2591–2605, 2007.
- [47] A. Pisello, F. Rossi i F. Cotana, «Summer and Winter Effect of Innovative Cool Roof Tiles on the Dynamic Thermal Behavior of Buildings. Energies 2014,» *Energies* 2014, vol. 7, pp. 2343-2361, 2014.
- [48] Carnielo E., A. Fanchiotti i M. Zinzi, «Energy and comfort benefits of a cool roof application in a non-residential building belonging to Roma Tre University,» de World Renewable Energy Congress, Sweden, 2011.
- [49] Costanzo V, G. Evola i L. Marletta., «Cool roofs for passive cooling: performance in different climates and for different insulation levels in Italy,» *Advances in Building Energy Research*, vol. 7, núm. 2, pp. 155–169,, 2013.
- [50] A. Pisello, F. Cotana, i L. Brinchi. , «On a cool coating for roof clay tiles: development of the prototype and thermal-energy assessment,» *Energy Procedia*, núm. 45, p. 453 – 462, 2014.

- [51] «American Society for Testing Materials,» [En línia]. Available: <http://www.astm.org/> .
- [52] [En línia]. Available: <http://www.energy.ca.gov/title24/> .
- [53] [En línia]. Available: <http://www.energy.ca.gov/title24/2008standards/rulemaking/documents/index.html>.
- [54] [En línia]. Available: [http://coolroofs.org/documents/Cool\\_Roof\\_Ratings\\_Codes\\_and\\_Programs021710.pdf](http://coolroofs.org/documents/Cool_Roof_Ratings_Codes_and_Programs021710.pdf).
- [55] [En línia]. Available: <http://egov.cityofchicago.org>.
- [56] [En línia]. Available: <http://www.dallascityhall.com>.
- [57] [En línia]. Available: <http://www2.iccsafe.org/states/newyorkcity/> .
- [58] [En línia]. Available: <http://coolroofs.org/resources/los-angeles-green-building-code> .
- [59] [En línia]. Available: <http://legislation.phila.gov/attachments/10096.pdf>.
- [60] [En línia]. Available: [http://documents.publicworks.houstontx.gov/documents/divisions/planning/enforcement/houston\\_commercial\\_energy\\_conservation\\_code\\_3rdprinting.pdf](http://documents.publicworks.houstontx.gov/documents/divisions/planning/enforcement/houston_commercial_energy_conservation_code_3rdprinting.pdf) .
- [61] [En línia]. Available: <http://www.iccsafe.org> .
- [62] [En línia]. Available: <http://www.ashrae.org> .
- [63] Urban, B; Roth, , K; US DEPARTMENT OF ENERGY, «Guidelines for Selecting Cool Roofs,» BUILDING TECHNOLOGIES PROGRAM, [En línia]. Available: [https://heat island.lbl.gov/sites/all/files/coolroofguide\\_0.pdf](https://heat island.lbl.gov/sites/all/files/coolroofguide_0.pdf).
- [64] J. C. Aguilar, «Building thermal performance and the urban heat island: optimization in temperate zones» University of Technology,» Sydney Faculty of Science, School of Physics and Advanced Materials..
- [65] P. BAKER i H. VAN DIJK, «PASLINK AND DYNAMIC OUTDOOR TESTING OF THERMAL AND SOLAR PROPERTIES OF BUILDING COMPONENTS,» Centre for Research in Indoor Climate & Health Glasgow Caledonian University.

- [66] «DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE LA CÉLULA DE ENSAYOS PASLINK,» núm. [http://www.ehu.eus/enedi/uploads/downloads/documento\\_4\\_c.pdf](http://www.ehu.eus/enedi/uploads/downloads/documento_4_c.pdf).
- [67] M. d. C. Giménez Molina, «Alternativas para la mejora de la eficiencia energética de los cristalamientos: los vidrios dinámicos,» Univesidad Politècnica de Madrid.
- [68] J. A. Quiroa Herrera, F. Vecchia i N. Castañeda, «Comparación del comportamiento térmico de tres cubiertas: láminas de reciclado tetra pak®, láminas de fibrocemento y teja de barro ,» Ingeniería 14, vol. 1, pp. 23-31, 2010.
- [69] R. Levinson, H. Akbari, i J. Reilly , «Cooler tile-roofed buildings with near-infrared-reflective non-white Coatings.,» Building and Environment 42, p. 2591–2605, 2007.
- [70] M. D’Orazio, C. Di Perna, i E. Giuseppe, «. The effects of roof covering on the thermal performance of highly insulated roofs in Mediterranean climates.,» Energy and Buildings, vol. 42, p. 1619–1627, 2010.
- [71] ECCA, Redacció per European Coil Coating Association, «Statement of product testing and certification in the ECRC. Estudi comparatiu per a la normalització dels assaigs per a classificar els materials segons el grau de reflexió i emissivitat.,» [En línia]. Available: <http://www.ecca>.
- [72] C. Romeo i M. Zinzi , «Impact of a cool roof application on the energy and comfort performance in an existing non-residential building. A Sicilian case study,» Energy and Building, vol. 67, pp. 647-657, 2013.







# CAPÍTOL 1. TÈCNICA. JUSTIFICACIÓ DE LES COBERTES FRESQUES

## 1.1. CONSIDERACIONS PRÈVIES

Per delimitar el tema, mirem com les principals organitzacions relacionades defineixen què és una coberta fresca. La representació gràfica de com actua una coberta fresca queda definida a la Imatge 1.01. La definició es copia de la font original en anglès.

### DEFINICIONS DE COBERTES FRESQUES:

Segons:

CRRC [1] (Cool Roof Rating Council created in 1998.): *A cool roof is one that reflects the sun's heat and emits absorbed radiation back into the atmosphere. The roof literally stays cooler and reduces the amount of heat transferred to the building below, keeping the building a cooler and more constant temperature.*

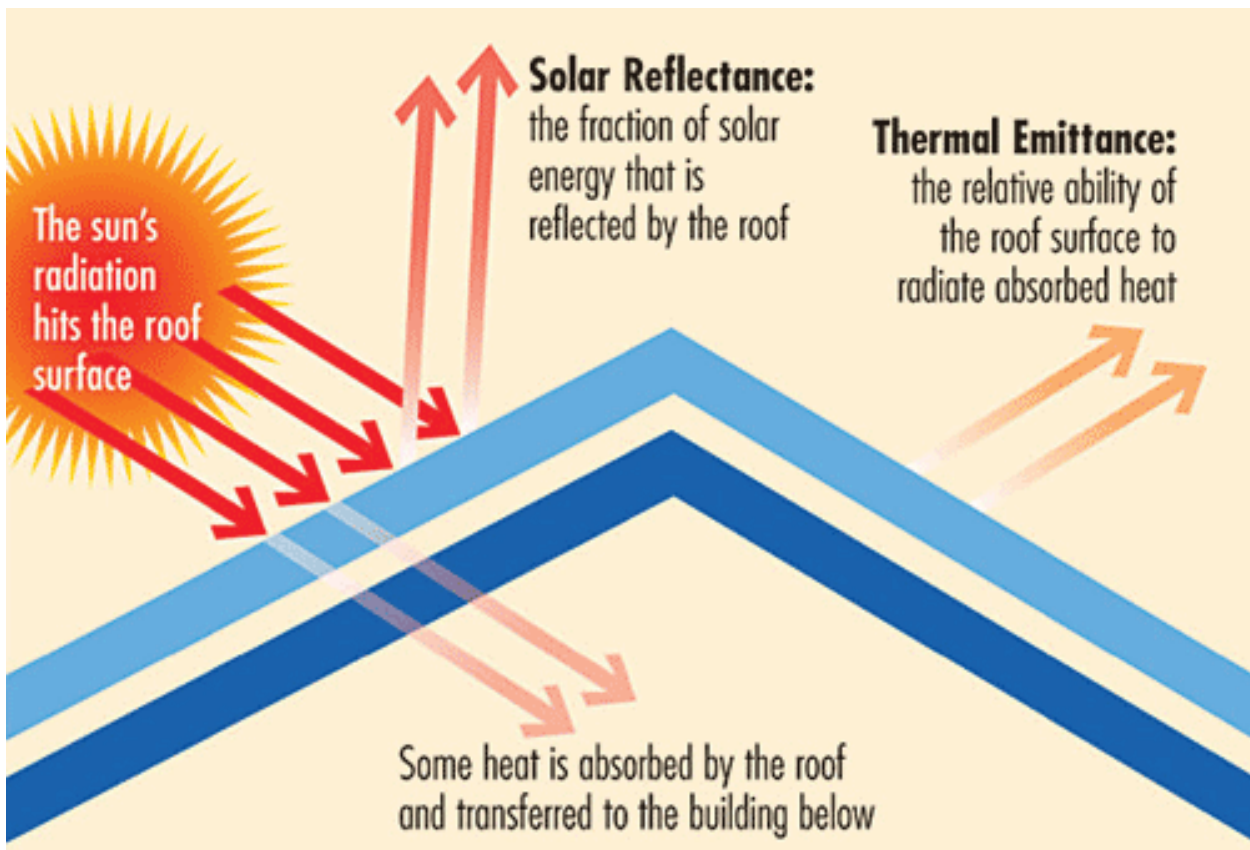
EU Cool Roof Council [2]: *"A Cool Roof minimises solar heat gain keeping roof surfaces cooler under the sun. This is due to the materials used, which both reflect the solar radiation (solar reflectance) and release the absorbed heat (infrared emittance)."*

EFFICIENCY STANDARDS CALIFORNIA [3]: *CODE OF REGULATIONS TITLE 24, PART 6 "COOL ROOF is a roofing material with high thermal emittance and high solar reflectance, or low thermal emittance and exceptionally high solar reflectance as specified in Section 118 (i) that reduces heat gain through the roof."*

En definitiva, una coberta fresca, és aquella la qual, sota la radiació solar directe té una temperatura propera a la temperatura de l'aire que l'envolta. Cal especificar que en el moment del dia de màxima radiació solar, la diferència entre la temperatura ambient i la temperatura superficial d'una coberta fresca poden ser 10-12°C, en una coberta convencional pot arribar a 30-50°C (Veure gràfica 4.02 del capítol 4). Per aconseguir això cal que l'últim estrat de la coberta tingui una alta emissivitat i alta capacitat de reflectir la radiació solar.

És una estratègia per evitar els guanys tèrmics per radiació directe, actuant sobre el principi de transmissió d'energia per radiació. És doncs un aïllament tèrmic el qual evita el pas d'energia calorífica radiada pel sol, complementari amb els aïllaments convencionals, els quals eviten el pas de calor per conducció.

Les dues propietats determinants –reflexió i emissivitat- són característiques de la part més superficial de l'última capa, dels primers mil·límetres.



**Imatge 1.01.** This diagram shows solar radiation on a roof surface. Image courtesy of Cool Roof Rating Council:  
**Font:** <https://heatisland.lbl.gov/coolscience/cool-roofs>.

### 1.1.1. HIPÒTESIS DE QUANTIFICACIÓ

Fins al moment s'han anat fent conjetures donant per vàlides totes les virtuts que es deriven de la utilització de les cobertes fresques. Però, per acabar de validar-ho, ens calia quantificar que passaria en el nostre entorn si s'incrementés lleugerament l'albedo de les cobertes de totes les construccions d'un país.

A aquest efecte, es va fer un senzill càlcul estimatiu per valorar quin impacte podria tenir modificar lleugerament l'albedo de les cobertes de l'estat espanyol.

L'enunciat era:

- Que passaria si augmentés l'albedo de totes les cobertes de les construccions domèstiques de l'estat espanyol en un 10%?
- Quanta calor es deixaria d'absorbir?
- Quin ordre de magnitud ens serviria per fer-nos una idea de la quantitat de calor re-emesa?

Les dades de partida varen ser:

1. Superfície del sostre de les construccions domèstiques.. L'any 2005 hi havia 2.266.587 milers de m<sup>2</sup> construïts [4]. (Ressaltem que són metres quadrats construïts sobre rasant.)
2. Superfície de coberta: per aproximar a quina superfície de coberta correspon és va dividir per tres, ratio avalada per l'article [5]
3. La radiació solar mitja incident a l'Estat Espanyol [6].
4. Central de producció elèctrica per cicle tèrmic com a ordre de magnitud

El procediment és senzill, comptabilitzem quin es l'aportació de calor en cas d'absorbir respectivament un 70% i un 60% de la radiació solar incident. La diferència és l'energia solar que no absorbirien les cobertes.

Aquest radiació solar no absorbida, la relacionem amb la magnitud tèrmica escollida com a referència, o sigui una central tèrmica.

La taula 1.01 següent, seguint l'enumeració de les dades de partida, reflexa la hipòtesi de quantificació:

ANÀLISIS TÈCNIC I FÍSIC DEL COMPORTAMENT  
DE LES COBERTES "FRESQUES" (COOL ROOFS) : EL CAS DE CATALUNYA.

1																
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Domèstic	1457195	1490180	1524940	1558316	1593256	1634773	1673709	1717855	1771771	1832589	1900000	1960382	2022699	2094995	2177535	2266587
Serveis	250921	255327	259056	262678	265580	268992	271693	274898	278685	283499	289000	295406	301350	308197	314315	320671
Total	1708117	1745507	1783996	1820994	1858836	1903764	1945402	1992753	2050455	2116088	2189000	2255788	2324049	2403192	2491847	2587258
2																
superfície edificada																
2.267E+09 m²					/3	plantes		7.555E+08 m² de coberta								
3																
Incidència solar Wh/m² any												Month		Irradiation at inclination (Wh/m²/any)		
4139		promig mensual Wh/m² i dia → 4139/24h és 170Wh/m²														
1.51E+06		radiació anual (4139 x 365) sobre el pla horitzontal en Wh/any i m²														
1.14E+15		radiació anual sobre els m² de coberta Wh/any (radiació anual x m² de coberta)										gener		1901		
												febrer		2578		
												març		3928		
A) si suposem que les cobertes absorbeixen un 70% del guanys tèrmics tindríem.												abril		4910		
7.990E+14		Wh/any (70% del total 1,14E+15)										maig		5842		
												juny		6554		
B) només que aconseguíssim que les cobertes absorbeixin només un 60%, això és milloressin l'albedo en un 10%												juliol		6593		
6.848E+14		Wh/any(60% del total 1,14E+15)										agost		5797		
												setembre		4547		
												octubre		3468		
La diferència entre totes dues situacions seria A-B:												novembre		2054		
1.141E+14		Wh/any										desembre		1688		
												total		4139		
4																
Per a tenir una ordre de magnitud, una central tèrmica poden ser 500-2000MW tèrmics. Suposarem una central mitjana de 1500 MW. posant que la central treballés tot l'any( 8760 hores) tindríem:																
1.50E+09 • 8760 = 1.31E+13 Wh /any																
Per tant la relació que hi ha entre una central tèrmica i els Wh/any que deixem d'absorbir:																
1.1414E+14 / 1.314E+13 = 8.69E+00 Wh /any																
O SIGUI MILLORANT L'ALBEDO DE LES CONSTRUCCIONS DOMÈSTIQUES UN 10% ACONSEGUIRÍ-EM EVITAR L'ESCALFOR EQUIVALENT A 8,7 CENTRALS TÈRMiques MITJANES!																

Imatge 1.01.

Font: OMR

Així, segons aquesta estimació i amb tota la prudència del món, la calor que deixariem d'absorbir si augmentéssim un 10% la reflexió de totes les cobertes de l'estat Espanyol, seria la mateixa que emeten 8,7 centrals tèrmiques mitjanes.


Sembla que valia la pena aprofundir més en aquest tema dels revestiments "freds" i intentar avaluar fins a quin punt és factible tècnicament la millora de la reflexió i emissivitat dels materials de revestiment de coberta en aquesta proporció de la estimació anterior o superior.

Hom pot tenir una idea encara més precisa del potencial d'estalvi energètic emprant l'eina informàtica, desenvolupada en el marc del projecte EC's "CoolRoof" project [7].

En aquesta eina i d'una forma molt bàsica ens ofereix la possibilitat de determinar en € l'estalvi per m<sup>2</sup> en aire condicionat també i el possible estalvi o penalització en calefacció. Imatge 1.02

Per a determinar els valors d'estalvi cal introduir tota una sèrie de dades. Aquestes són:

- Geogràfiques: país i ciutat on s'ubica l'edifici.
- Característiques del material de revestiment i també del tancament: aïllament, reflexió, emissivitat
- Econòmiques: preu de l'energia per a climatitzar (electricitat o fuel)
- Sistemes actius per a climatització: COP o rendiment de la caldera equivalent.



**Calculator of energy savings (cooling-heating) for low-slope roofs (relative to a "black" roof)**

Input data		Output data	
Country	Spain	<b>Calculate annual savings relative to black roof</b>	
City	Barcelona		
Roof			
R-value (high=3.5; avg=1.5; low=0.5)	1.5 K·m <sup>2</sup> /W	Net savings	10.4645 €/m <sup>2</sup> per year
Solar reflectance, SR (high=80; avg=50; low=10)	50 %	Cooling savings	10.4817 €/m <sup>2</sup> per year
Infrared emission, IE (high=90; avg=60; low=10)	80 %	Heating savings (heating penalty if negative)	-0.0172 €/m <sup>2</sup> per year
Energy costs and equipment efficiencies		Insulation in black roof to yield same annual energy savings:	
(visit <a href="#">Europe's Energy portal</a> for help)		Upgrade from R- 5 to R- 6 K·m <sup>2</sup> /W	
Summertime cost of electricity (high=0.30; medium=0.15; low=0.08)	0.12 €/KWh	Details of comparison	
Air conditioner efficiency (cooling COP) (high=4; avg=3; low=1.5)	3		
Energy source for heating (choose one)	Electricity	Heating degree days for location chosen	1801.43 annual °C-day
If electricity, wintertime cost (high=0.30; avg=0.15; low=0.08)	€ /KWh	Cooling degree days for location chosen	383.72 annual °C-day
If fuel, cost (Natural gas: high=0.15; avg=0.09; low=0.03) (Heating oil: high=0.09; avg=0.07; low=0.05 = € per litre/12.24)	0.09 €/Kwh	Solar load for location chosen	3.96 annual average KWh/m <sup>2</sup> per day
Heating system efficiency (heating COP) (Furnace or boiler: high=0.8; avg=0.7; low=0.5) (Electric heat pump: high=2; avg=1.5) (Electric resistance: 1)	1.5	Cooling load for black roof (SR=5%; IE=90%)	6.32 KWh/m <sup>2</sup> per year
		Heating load for black roof (SR=5%; IE=90%)	13.71 KWh/m <sup>2</sup> per year
		Cooling load for proposed roof	2 KWh/m <sup>2</sup> per year
		Heating load for proposed roof	8.09 KWh/m <sup>2</sup> per year

**Imatge 1.02.**

Font: [http://pouliezios.dpem.tuc.gr/coolroof/coolcalcenergy\\_eu.html](http://pouliezios.dpem.tuc.gr/coolroof/coolcalcenergy_eu.html)



Un cop introduïdes les dades el full Excel calcula l'estalvi en €/m<sup>2</sup> que es pot obtenir gràcies a l'energia estalviada per a refredar l'edifici. En les èpoques fredes, si l'edifici està més fred, ho comptabilitza en negatiu, o sigui augment en el consum energètic per escalfar.

Tal i com es pot veure a la imatge 1.02, l'estalvi net és de 10,46 €/m<sup>2</sup> per any

El programa també compara la solució de coberta proposada amb una solució de coberta negra i ens mostra:

- La resistència tèrmica addicional (en m<sup>2</sup>k/w ) equivalent en cas que la coberta fos de color negre o segons la proposta.
- La càrrega energètica per escalfar i refredar expressada en kwh/ m<sup>2</sup> per dia.

Com a conclusió de les estimacions de quantificació en aquest punt exposades es pot concloure que:

- La inversió en revestiments cool roofs atorga immediats beneficis (en confort i en euros) a l'usuari.
- És viable revestir els productes de coberta actuals amb productes “cool”.
- La seva aplicació és compatible amb els edificis, malgrat cal considerar efectes molestos com l'enlluernament...

Sembla que aquests avantatges justifiquen àmpliament l'aplicació de la solució de cobertes fresques (cool roofs).

Ara bé, aquestes dades han estat estimades per a casos virtuals. Com a tècnics de la construcció, els arquitectes, ens calen referents més pròxims: temps d'amortització, tipologies de cobertes on l'estratègia sigui més efectiva, tipus de materials, valors de reflexió i emissivitat. I no tan sols això, caldrà determinar en quines geometries de coberta o en quins tipus d'edifici l'aplicabilitat d'una coberta fresca serà més o menys exitosa.

El quadre adjunt hi ha altres eines de càlcul estimatiu disponibles on line i que poden servir per a quantificar l'estalvi:

<http://www.roofcalc.com/>

[http://rsc.ornl.gov/rsc\\_main.htm?calc=res](http://rsc.ornl.gov/rsc_main.htm?calc=res)

*The U.S. Department of Energy (DOE) web calculator <http://www.ornl.gov/sci/roofs+walls/facts/CoolCalcPeak.htm> provides an estimation of annual electricity savings and demand reduction. It has limited insulation and location choices*

*The U.S. Environmental Protection Agency (EPA) Energy Star Roof Calculator available at <http://roofcalc.cadmusdev.com> provides only annual electricity savings, but it applies to any location in the U.S.*

Si imaginem una aplicació extensiva d'aquest recurs, hom pot aventurar un refredament sistemàtic de l'ambient a les zones més urbanitzades, la qual cosa provocaria una millora addicional en la eficiència en tots els sistemes de ventilació per "freecooling" o per refredament natural nocturn, així com una reducció de la potència i consum de totes les màquines actives per refredament. Per tant, l'ús intensiu de materials frescos com a revestiment de coberta pot tenir conseqüències molt més beneficioses de les estrictament enumerades en aquest punt.

### 1.1.2. JUSTIFICACIÓ DE L'APLICABILITAT

Molts arguments indiquen que l'aplicació de forma massiva de les cobertes fresques pot ser un recurs molt útil i que cal explorar, ja que les virtuts i millores que ofereix son notables. A més a més es una estratègia fàcil, assolible i factible d'implementar.

Oportunitats:

Probablement el volum construït d'edificis que hi ha el món ja és molt elevat però encara s'incrementa cada any de forma significativa.

Tanmateix hi ha una sèrie d'aspectes addicionals a favor, per les quals cal considerar com a rellevants les característiques tècniques cool/fresques dels revestiments de les superfícies horitzontals de la construcció:

- Es construeix molt en edificis de baixa alçaria i sobretot s'incrementa la participació de les infraestructures civils (carreteres, aeroports, ponts...) en la superfície terrestre antròpica.
- L'esforç de manteniment i restauració de les superfícies de coberta és molt més elevat que la resta de superfícies de l'edifici, atès el problema de les infiltracions d'aigua deri-

vats de l'envel·liment que sobre els materials de revestiment produeix la intensa radiació solar. Les cobertes s'han de reparar sovint i moltes vegades la reparació es fa aplicant un nou revestiment.

- La superfície dels terrats no roman, normalment, a la vista dels ciutadans (en comparació amb les façanes) i no està sotmesa a les condicions de moda i gust, la qual cosa les fa més aptes per a revestiments tècnics.
- La indústria dels revestiments de coberta ceràmics ha demostrat una inquietud per millorar els seus productes i adaptar-los a les necessitats actuals de les cobertes.

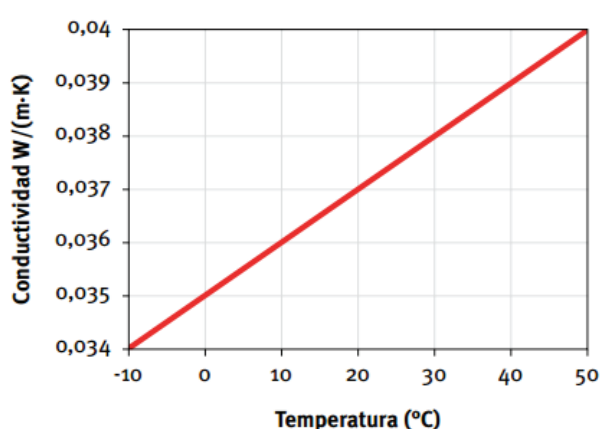
Avantatges:

A les àrees geogràfiques amb climes de llargs períodes secs i càlids (en especial a l'àrea mediterrània, on el canvi climàtic afectarà a les temperatures i la pluviometria [8]), revestir “adequadament” un terrat pot tenir avantatges notables addicionals:

- Reduir la temperatura de l'àrea atmosfèrica que està més propera a la superfície del terrat: aquest avantatge pot ser valorat socialment en el cas dels terrats transitables com és ara el cas dels carrers urbans o les terrasses dels bars, espais molt ocupats a les àrees turístiques del Mediterrània.
- Reduir la temperatura dels locals habitables situats directament sota el terrat: actualment, a l'àrea mediterrània, sota del terrat de les noves construccions ja no hi ha cambra d'aire ventilada sinó un sostre pesat i amb un aïllament tèrmic escàs, conjunt que propicia, especialment als vespres, un elevat increment de temperatura de l'aire del local intern que resulta molest i cal combatre activament obrint finestres, engegant el ventilador o be l'aire condicionat. La disminució d'aquesta temperatura permetrà
  - reduir la despesa energètica consumida en aire condicionat.
  - aplanar el pic de demanda energètica en moments punta
  - i reduir al potència instal·lada dels aparells de climatització
- oferir al mercat nous revestiments de terrat que simultàniament millorin:
  - el confort tèrmic d'estiu en els locals habitables situats inferiorment,
  - i a nivell global redueixin l'impacte de l'efecte hivernacle i l'efecte illa de calor en les zones urbanes.

Reduir la temperatura superficial dels materials de revestiments de terrats, reduint els moviments de dilatació i contracció deguts als canvis tèrmics (minva de l'estrès tèrmic) i conseqüentment allargar la vida útil de les cobertes.

- Maximitzar el funcionament dels aïllaments tèrmics. Els aïllaments tèrmics per conducció perden efectivitat amb l'augment de temperatura. Veure figura 1.03. Si suposem que una coberta pot arribar a temperatures de fins a 70-80°C a l'estiu, resulta que podem arribar a tenir una conductivitat propera al 0,045 W/m.K, aproximadament un 20% més alta, el que significaria que també cal augmentar un 20% el gruix de l'aïllament tèrmic.



**Imatge 1.03.**

**Font:** Guia tècnica. Soluciones de aislamiento con espumas flexibles. IDAE

A continuació s'especifiquen una sèrie de punts que s'han de considerar per tal de garantir l'èxit en la implementació d'aquest tipus de revestiments de cobertes.

El primer és dotar de coneixement adequats tots els agents relacionats amb la construcció (arquitectes, aparelladors, enginyers...) i que aquests tinguin un millor coneixement de les propietats físiques dels materials en front de la radiació solar incident. Només amb tècnics conscients de la repercussió d'emprar d'una o altre solució de coberta s'aconseguirà un convenciment col·lectiu de la bondat d'aplicació de les cobertes fresques de forma massiva.

tiu de la bondat d'aplicació de les cobertes fresques de forma massiva.

Consideracions prèvies per al projectista:

- En les èpoques fredes (hivern), quan la radiació incident es menor, aquesta estratègia ens pot ocasionar una disminució dels guanys de calor proporcionats per la radiació solar incident, el que faria augmentar la despesa energètica en calefacció. Ara bé dues consideracions fan que les pèrdues es minimitzin: la primera, és que la radiació sobre el pla horitzontal és molt superior a l'estiu que a l'hivern. La segona, l'aïllament tèrmic per conducció és un bon aturador del flux de calor sortint.
- Així com major sigui l'efectivitat de la solució de coberta fresca, més a prop serem d'estar a una situació similar a la de tenir la coberta a l'ombra. Dit d'una altra manera estalviarem tota la càrrega tèrmica (flux de calor entrant) produïda per la radiació solar directa sobre la coberta.

- Actualment ja existeixen materials frescos per revestir qualsevol tipus de coberta o espai públic, independentment de la forma, color o textura que desitgi el projectista.

La decisió de l'arquitecte sobre quin tipus de coberta i geometria projectarà, respon, la majoria de vegades, només a l'acabat formal, com a resposta a unes ordenances urbanístiques, o simplement com a remat de l'edifici. Però una coberta també pot tenir una funció de captació de recursos, pot adoptar diferents estratègies tèrmiques –ombres, cambres ventilades, enjardinaments...-

El tipus d'acabat de coberta, pot influir de forma substancial en el funcionament tèrmic de l'edifici. Especialment en edificis de baixa alçada, en els quals, la proporció de coberta pot ser molt alt respecte la resta dels tancaments.

A més, com a tècnic responsable de la construcció o reforma de l'edifici, l'arquitecte haurà de prescriure quin tipus d'acabat vol. Per tant ha de ser coneixedor de diferents productes, saber-ne les característiques tècniques i els valors que han de complir en cada cas, els preus, la compatibilitat amb altres materials o sistemes, el manteniment i la idoneïtat de prescriure'ls.

L'arquitecte ha de contemplar totes les possibilitats de la coberta i compatibilitzar tots els requeriments i usos d'aquesta. Així, caldrà treballar amb altres característiques com:

- La geometria: de la coberta i del producte de revestiment o acabat.
- El color com a característica que pot provocar reflexions molestes i enlluernaments.
- La pendent i vessants de la coberta.
- Les cambres ventilades.
- Les textures, la rugositat (entesa com el quocient entre l'àrea real i l'àrea aparent. Factor que pot ajudar molt a la convecció superficial.)
- L'orientació del pla de coberta. L'incidència del raig solar. La posició relativa de la coberta respecte el flux principal de radiació solar al llarg de l'any.
- Les ombres de la pròpia peça. (Per exemple les teules àrabs, on la cobertora llença una ombra sobre la teula canal)
- La durabilitat de la solució emprada: sempre tindrà més durabilitat una forma geomètrica que un revestiment aplicat en obra.

Com a resum es vol incidir sobre una sèrie d'arguments (addicionals i/o complementaris als ja anteriorment anomenats) pels que sembla que aquesta estratègia seria fàcil d'implementar en el parc d'edificis construïts.

Primer:

### Patologia de les cobertes

Les cobertes són uns dels sistemes de l'edifici amb més requeriment de manteniment. Això és degut a que és l'element constructiu amb més desgast degut a l'alt grau d'exposició a la intempèrie de manera continuada. La seva degradació ve provocada per:

- Els constants canvis de temperatura i humitat, els quals provoquen variacions i canvis de dimensió.
- Els agents químics que s'hi dipositen, provinents de brutícia, pols, contaminació...
- Les càrregues gravitatòries. En tractar-se d'un pla proper a l'horitzontal, l'estabilitat i deformacions de la coberta seran majors que altre elements constructius.
- L'ús de la coberta en si.

Tots aquests factors contribueixen a fer que la coberta sigui origen de constants patologies i per tant punt de contínues reparacions o rehabilitacions.

Segon:

A la coberta s'hi desenvolupa pocs usos i de manera discontinua o programes complementaris els qual permetria portar a terme les obres de rehabilitació o reparació sense interferir amb l'ús de l'edifici.

Tercer:

Sovint l'única funció que es demana a l'última capa de la coberta és de llastra per fixar les plaques de l'aïllament tèrmic o per protegir les capes inferiors dels raigs ultraviolats del sol. Per tant podem transformar una coberta convencional en una "coberta fresca", sense que en cap moment se'n ressenteixi l'estanquitat d'aquesta. És més podríem simplement pintar l'última capa d'acabat, o afegir-ne una de nova



Quart:

Possibilitat d'aprofitar com a cool roof materials de rebuig. Actualment hi ha un problema amb el reciclatge de la majoria dels materials provinents de la de-construcció, enderroc o sobrants de cantera. Seria molt interessant provar i avalua la viabilitat d'utilitzar materials de rebuig per a cobertes fresques. Aquests poden ser simplement triturats: formigó, ceràmica, vidre... O bé triturats i pintats amb pintures cool roof: ceràmica blanca.

Cinquè:

La construcció d'una coberta fresca en front d'una coberta convencional no suposarà un increment de preus substancial. En canvi hi haurà un estalvi econòmic associat a la reducció del consum en els aparells de refrigeració o bé a l'augment de captació de plaques fotovoltaiques o tèrmiques (veure punt 7.3) o fins i tot un estalvi en el gruix necessari d'aïllament convencional per conducció.

Sisè:

El canvi climàtic actual ens està portant a tenir llargues temporades amb altes temperatures. Les exigències de la normativa actual preveu sistemes de condicionament tèrmica a les cobertes bàsicament per evitar la pèrdua de calor cap a l'exterior, però no per evitar els guanys i sobreescalfament que bàsicament provoca la radiació solar incident. Aquesta estratègia permet millorar el confort tèrmic a l'edifici sense necessitat d'incrementar gruixos a la coberta per augment de l'aïllament tèrmic per conducció. Alguns materials específics per a cobertes fresques son anomenats per als seus comercialitzadors com a aïllament termorefectant.

Setè:

Les actuals normatives intenten reduir la demanda energètica associada a l'edificació, aquesta proposta s'adequa a les polítiques presents.

Analitzem que diuen les normatives tècniques al respecte.

### 1.1.3. LES NORMATIVES ACTUALS (I PASSADES) EN FRONT LA CALOR.

*“L'augment sostingut de temperatures l'estiu de 2003 va impactar en la mortalitat. Així, una de cada quatre morts observades a Barcelona fou atribuïble al calor. És a dir, de les aproximades 1.600 morts ocorregudes a Barcelona durant el mes d'agost de 2003, unes 400 estaven relacionades amb l'increment de la temperatura. Aquest increment de mortalitat va afectar sobretot a les persones d'edat més avançada (més de 70 anys).”*  
[9]

“I do not know if you remember the heat storm that we had in Western Europe in 2003 or 2004 that led to over 15,000 people dying from the heat and stroke. Most of the deaths happened on the upper floors of the buildings, under the roof where the buildings were not air conditioned and the roofs were dark. A few degrees cooler interior because of a cool roof would have meant many lives saved.” [10]

Un article i una cita, referents tots dos a l'estiu de 2003, ens consciencien de la necessitat de prendre mesures en front la calor. Ja no com a mesura de confort, sinó de salut.

Fins a data d'avui, poques ordenances o normatives, fan referència a mesures per evitar els guanys de calor provinents de la radiació solar. És un fet que la temperatura puja any rera any [11], per tant, sembla necessari revisar aquestes normatives.

Aquestes mesures, podran ser actives o passives. Des de l'arquitectura i la construcció, cal actuar en conseqüència i dissenyar els edificis per tal de protegir els usuaris de les inclemències del clima. Evidentment, en aquelles situacions extremes, en que les mesures passives previstes pel projectista no siguin suficients per assolir el confort, caldrà dotar l'edifici amb mesures actives (ventilacions mecàniques, aire condicionat...), ara bé, assegurant que aquests aparells siguin només un complement i siguin necessaris només en situacions ocasionals.

Previ a analitzar el CTE, es fa una revisió de les normatives o codis que el precedien. El Dr Manuel Martin Monroy, en la seva tesi “Comportamiento Térmico de cerramientos soleados” fa un anàlisi d'aquestes:

- NBE-CT-79: Norma espanyola que obliga a un aïllament tèrmic mínim dels tancaments i de l'edifici en el seu conjunt, orientada a l'estalvi energètic en condicions d'hivern.
- NTE-ICR: Recomanació tècnica espanyola que proposa un mètode simplificat per al dimensionat de les instal·lacions de calefacció. Només considera l'assolellament molt indirectament amb variacions de +/- 5% de la càrrega tèrmica segons orientació, equiparant les cobertes i els forjats sobre l'exterior a un orientació est (0% de variació)
- Mètode CARRIER: Mètode de càlcul de refrigeració per mitja de taules. En aquest es té en compte la massa del tancament, la orientació i la latitud d'on es troba l'edifici.
- Mètode ASHRAE: Similar a l'anterior.

(traduït de “Comportamiento Térmico de cerramientos soleados” Capítol 1, 1.1 *Atecedentes*) “S'observa que el desenvolupament tècnic ha incidit molt més en el concepte de calefacció que de refrigeració,

*sens dubte influenciat pel clima predominantment fred dels països industrialitzats. Avui es reconeix que la refrigeració activa consumeix molt més recursos d'instal·lacions i energia que la calefacció, i que el desenvolupament econòmic creixent d'àrees amb clima assolellat i càlid ha potenciat la demanda de sistemes de refrigeració, la qual podria ser satisfeta, en gran mesura, per sistemes de condicionament passiu”*

A més a més a Catalunya hi havia la NRE-AT-87. Aquesta normativa sí que fa alguna referència a les condicions dels tancaments que queden més exposats en èpoques d'alt assolellament. Per exemple, en l'Article 1 de la normativa diu: Que a l'estiu, en unes condicions climàtiques normals, la temperatura sigui tolerable.

I en l'Article 3, punt 3.4 3.4: “En els climes 1, 2 i 3 per tal de compensar a l'estiu els guanys tèrmics per radiació solar, els tancaments exteriors, definits a continuació i susceptibles de rebre insolació directa, han de complir”:

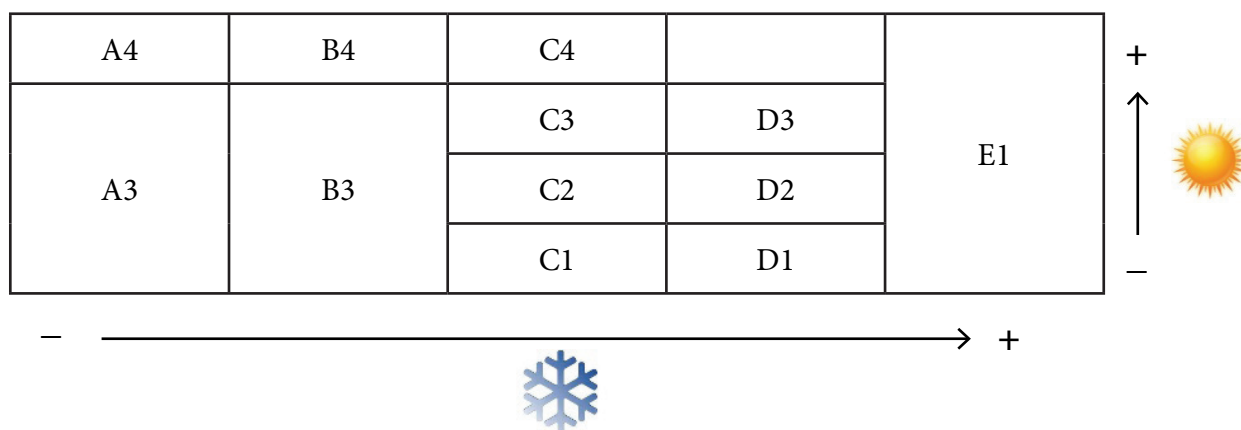
- “Cobertes. Una de les condicions següents: Tenir un coeficient mitjà de transmissió tèrmica  $K_m$  en  $W/m^2\ ^\circ C$  ( $kcal/h\ m^2\ ^\circ C$ ) igual o inferior a 0,46 (0,40).”
- “Protegir els sostres situats sota la coberta amb una cambra d'aire permanentment ventilada a l'estiu.”

Aquesta normativa ja considera que cal prendre mesures espacials per aquells tancaments més exposats a la radiació solar. Malgrat tot, el terme “temperatura tolerable” és una mesura poc precisa per una normativa.

Referent a la normativa actual, (CTE, <http://www.codigotecnico.org>) es detecta, la gairebé nul·la consideració de la radiació solar incident en els tancaments per tal de definir les transmissàncies límit segons cada sistema de tancament.

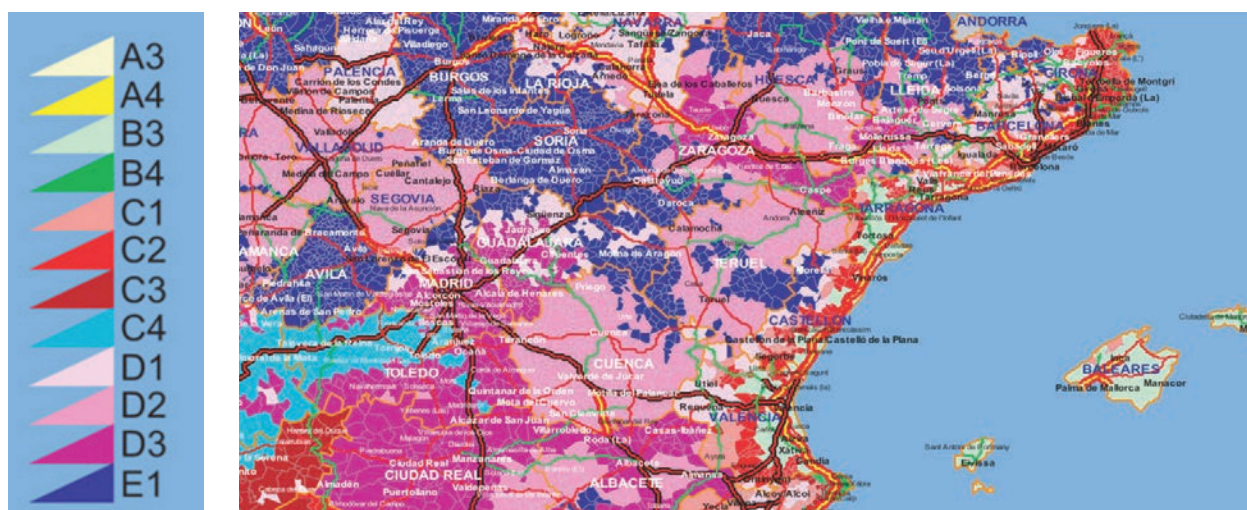
Per tal d'exemplificar això s'analitza el que fa referència a aquest paràmetre del codi tècnic (DB HE Ahorro de Energía).

Començarem per la definició de les zones climàtiques. La classificació diferencia les zones geogràfiques segons la irradiància a que estan sotmeses. Aquestes les defineix de l'1 al 4, de menys a més radiació. En paral·lel, també zonifica segons les temperatures, definint de la A a la E, cinc zones de menys a més fred. (Imatges 1.04, 1.05, 1.06):



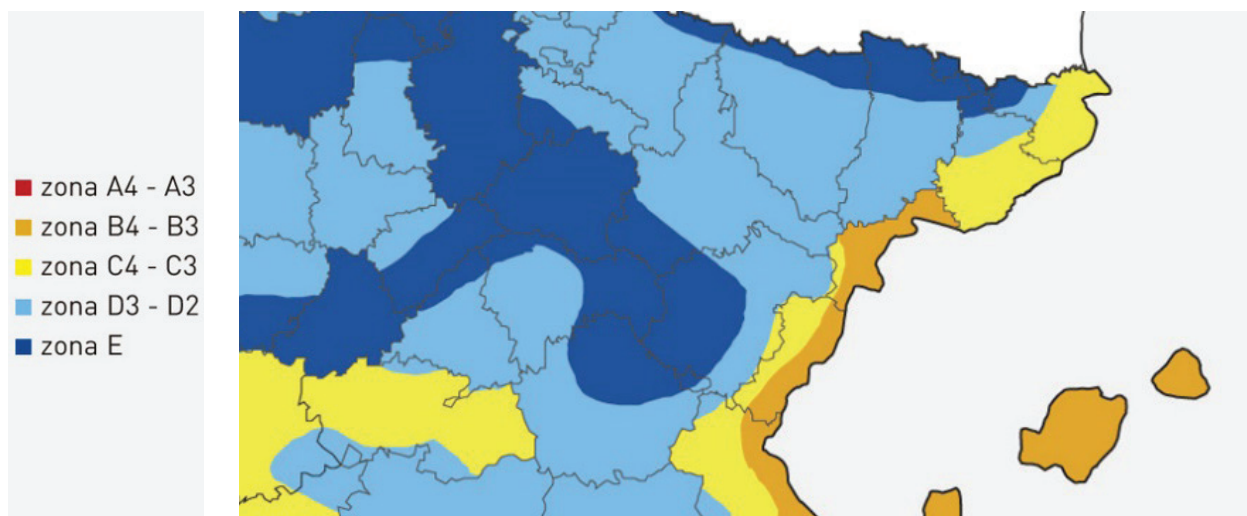
**Imatge 1.04.** Classificació climàtica segons CTE

Font: OMR



**Imatge 1.05.**

Font: <http://www.cmbburgos.es/>



**Imatge 1.06.** Mapa amb la zona mediterrània del CTE climes.

Font: <http://remicacalefaccion.es/>

Sobre aquestes zones defineix quines han de ser les transmissàncies (imatge 1.07) límit per a cada cas. Però resulta que ho fa únicament a partir de la zonificació de temperatura. Així les transmissàncies definides per a cada zona queden:

**Tabla 2.3 Transmisión térmica máxima y permeabilidad al aire de los elementos de la envolvente térmica**

Parámetro	Zona climática de invierno					
	$\alpha$	A	B	C	D	E
Transmisión térmica de muros y elementos en contacto con el terreno <sup>(1)</sup> [W/m <sup>2</sup> ·K]	1,35	1,25	1,00	0,75	0,60	0,55
Transmisión térmica de cubiertas y suelos en contacto con el aire [W/m <sup>2</sup> ·K]	1,20	0,80	0,65	0,50	0,40	0,35
Transmisión térmica de huecos <sup>(2)</sup> [W/m <sup>2</sup> ·K]	5,70	5,70	4,20	3,10	2,70	2,50
Permeabilidad al aire de huecos <sup>(3)</sup> [m <sup>3</sup> /h·m <sup>2</sup> ]	≤ 50	≤ 50	≤ 50	≤ 27	≤ 27	≤ 27

<sup>(1)</sup> Para elementos en contacto con el terreno, el valor indicado se exige únicamente al primer metro de muro enterrado, o primer metro del perímetro de suelo apoyado sobre el terreno hasta una profundidad de 0,50m.

<sup>(2)</sup> Se considera el comportamiento conjunto de vidrio y marco. Incluye lucernarios y claraboyas.

<sup>(3)</sup> La permeabilidad de las carpinterías indicada es la medida con una sobrepresión de 100Pa.

**Imatge 1.07.**

**Font:** Sección HE 1 Limitación de la demanda energética

Tal i com s'aprecia a la taula, les exigències majors (especialment en cobertes) són per a les zones més fredes (E). Tal i com s'ha dit, l'assoliment de la zona (1 a 4) no fa variar en res aquest paràmetre (Imatge 1.08)

**Tabla E.1. Transmisión térmica del elemento [W/m<sup>2</sup> K]**

Transmisión térmica del elemento [W/m <sup>2</sup> K]	Zona Climática					
	$\alpha$	A	B	C	D	E
$U_M$	0.94	0.50	0.38	0.29	0.27	0.25
$U_S$	0.53	0.53	0.46	0.36	0.34	0.31
$U_C$	0.50	0.47	0.33	0.23	0.22	0.19

$U_M$ : Transmisión térmica de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno

$U_S$ : Transmisión térmica de suelos (forjados en contacto con el aire exterior)

$U_C$ : Transmisión térmica de cubiertas

**Imatge 1.08.**

**Font:** Apéndice E Valores orientativos de los parámetros característicos de la envolvente térmica.

A l'apèndix E del mateix llibre (CTE DB HE) afina en el que fa a limitar les pèrdues de calor per tal de donar compliment als edificis. De totes formes la dinàmica és exactament la mateixa.

Per última a l' *Apéndice D: Definición del edificio de referencia*, hi ha una transmissància per a cada zona, a partir de la seva lletra i número de referència. Tal i com es veu a la imatge 1.09, el diferent grau d'assoliment no suposa cap variació en el grau d'aïllament.



	Transmitància cobertes W/m <sup>2</sup> K				
4	0.50	0.45	0.41		
3	0.50	0.45	0.41	0.38	
2	0.50	0.45	0.41	0.38	
1	0.50	0.45	0.41	0.38	0.35
	A	B	C	D	E

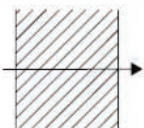
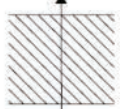
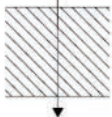
**Imatge 1.09.**

**Font:** Transmitància límit de les cobertes CTE. *Apéndice D Definición del edificio de referencia. D.2 Parámetros característicos de la envolvente.*

En consonància amb el que s'ha dit, al *Documento de Apoyo al Documento Básico DB-HE Ahorro de energía Código Técnico de la Edificación Cálculo de parámetros característicos de la envolvente*, en cap moment fa referència als guanys de calor deguts a la radiació solar sobre els tancaments.

En l'apartat 2 *Cálculo de los parámetros característicos de la envolvente 2.1 Transmitancia térmica*, especifica com calcular la resistència tèrmica d'un tancament, però no considera ni la massa (el que ens pot aportar un retard en la transmissió de calor) ni defineix el flux descendent de calor per sobreescalfament de la coberta. (Veure: Tabla 1 *Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior en m<sup>2</sup>·K/ W Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor*, en la imatge 1.10)

**Tabla 1 Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior en m<sup>2</sup>·K/ W**

Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor		R <sub>se</sub>	R <sub>si</sub>
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal >60° y flujo Horizontal		0,04	0,13
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal ≤60° y flujo ascendente (Techo)		0,04	0,10
Cerramientos horizontales y flujo descendente (Suelo)		0,04	0,17

**Imatge 1.10.**

\*Notis que el flux vertical descendent només considera que pugui ser un forjat en contacte amb el terreny o cambra sanitària

Curiosament, per calcular la transmitància de les obertures, si té en compte el color del marc de la finestra per obtenir la radiació absorbida (*Tabla 11 Absortividad del marco para radiación solar α*)

Com a conclusió, podem dir a les normatives precedents i vigents:

- Les transferències de calor dels tancaments es basen únicament en reduir la transmissió a base d'augmentar l'aïllament per conducció.
- No es considera la massa superficial dels materials com a mesura per retardar l'escalfament del tancament.
- No es consideren les variacions climàtiques dia-nit per refrescar els interiors.
- Només es contempla l'augment d'aïllament o les càmeres d'aire per reduir la transmissió de calor.
- Variables com el color del tancament o l'absorbància no es tenen en compte.
- La transmissió de calor, es contempla, de l'interior cap a l'exterior de l'edifici, quan en moltes latituds i en èpoques estivals, el desconfort o l'augment de despesa energètica per a refrescar, pot ser resultat del sobre-escalfament dels espais habitables.

En paral·lel, el CTE, en el document *HE 0 Limitación del consumo energético*, defineix les directrius per reduir la demanda energètica,. En aquest es consideren tan les èpoques fredes i les càlides

*15.1 Exigencia básica HE 1:”Los edificios dispondrán de una envolvente de características tales que limite adecuadamente la demanda energética” ....” régimen de verano y de invierno, así como por sus características de aislamiento e inercia, permeabilidad al aire y exposición a la radiación solar, reduciendo”.... “para limitar las pérdidas o ganancias de calor.”*

Malgrat tot, cal remarcar el que diu al HE1 punt2 apartat 2.2.1.2 guió 2: *“Las soluciones constructivas diseñadas para reducir la demanda energética, tales como invernaderos adosados, muros paretodinámicos, muros Trombe, etc., cuyas prestaciones o comportamiento térmico no se describen adecuadamente mediante la transmitancia térmica, pueden superar los límites establecidos.”* Entenent que aquesta normativa està oberta a noves solucions de control tèrmic dels tancaments. Per tant, en un futur, i recolzat per una bona justificació tècnica, es podien arribar a contemplar alternatives de limitació de la demanda energètica basades en la reflexió de la radiació solar, per tal de reduir la càrrega tèrmica d'estiu i esser comptabilitzades com a mesures que influencien eficientment en el comportament tèrmic de l'edifici.



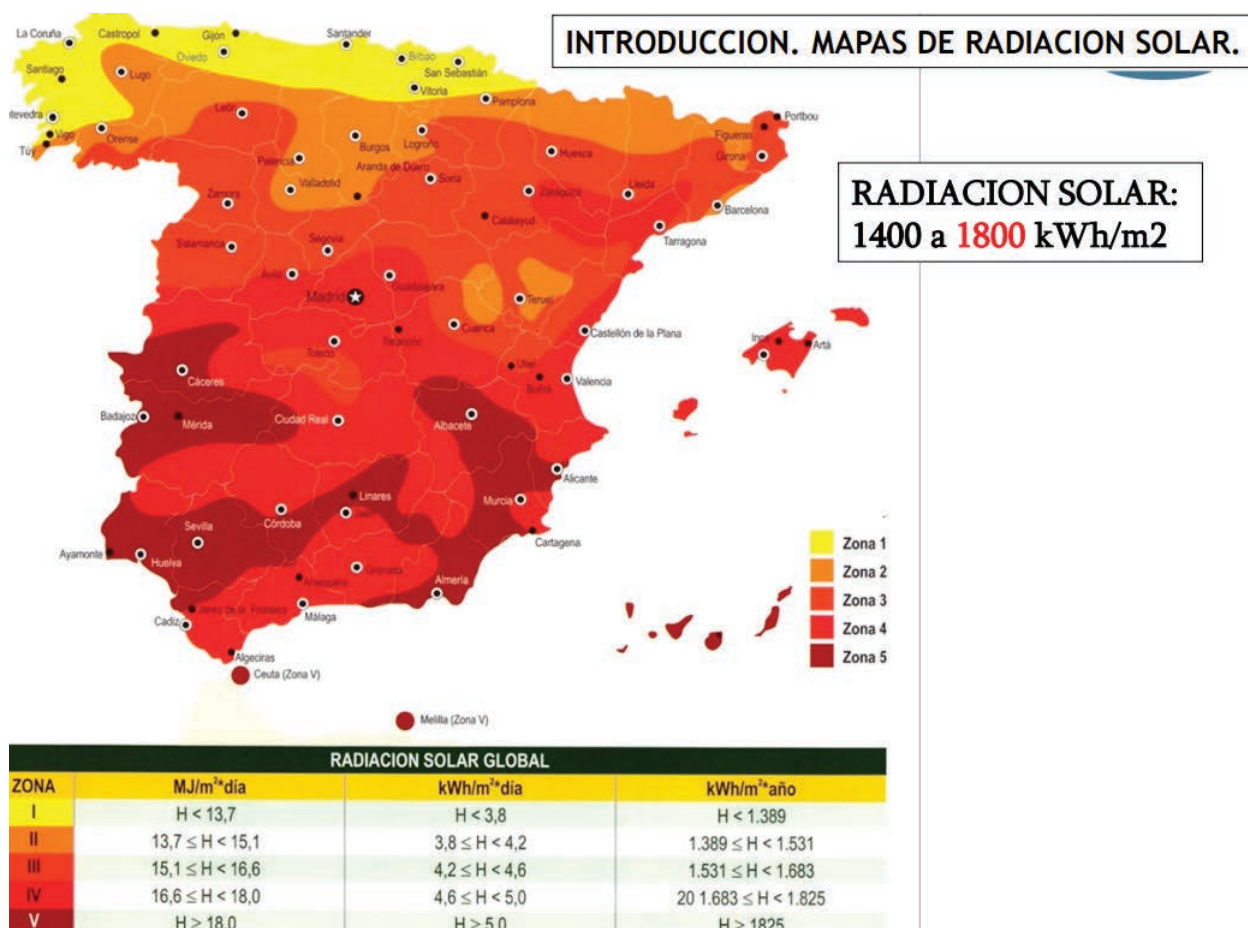
Per últim, cal destacar que quan la mateixa norma defineix quins percentatges d'ACS cal que sigui escalfada amb plaques solars tèrmiques, ho fa a partir d'una zonificació climàtica -diferent a les anteriors-, organitzada segons la radiació solar mitjana anual. (imatge 1.11 i 1.12)

**Tabla 4.4. Radiación solar global media diaria anual**

Zona climática	MJ/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>
I	$H < 13,7$	$H < 3,8$
II	$13,7 \leq H < 15,1$	$3,8 \leq H < 4,2$
III	$15,1 \leq H < 16,6$	$4,2 \leq H < 4,6$
IV	$16,6 \leq H < 18,0$	$4,6 \leq H < 5,0$
V	$H \geq 18,0$	$H \geq 5,0$

**Imatge 1.11.**

**Font:** HE4 secció, punt 4.2 tabla 4.4 se marcan los límites de zonas homogéneas a efectos de la exigencia. Las zonas se han definido teniendo en cuenta la Radiación Solar Global.



**Imatge 1.12.**

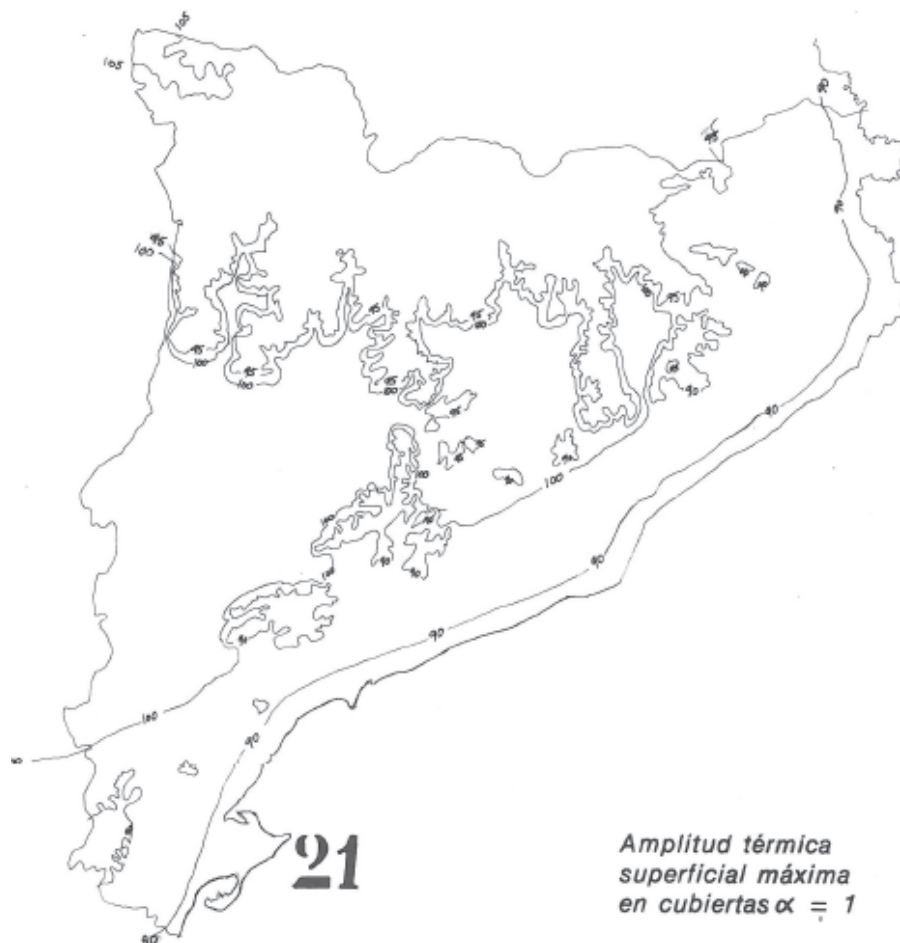
**Font:** XI Jornadas Aislamiento en la Construcción. Juan Venero de Castro LEED Green Associate.  
<http://www.upv.es/jornadasacustica/ponencias/HYSTON.pdf>

Per a una mateixa demanda ACS, el percentatge escalfat per la radiació solar, pot arribar a tenir una diferència superior al 100%.

Per tant, el CTE, no contempla la radiació solar sobre un tancament per a definir els guanys de calor a l'interior de l'edifici, però si ho contempla per la captació de calor per abastir d'ACS un edifici.

En aquest sentit la tesi del Dr. Jaume Avellaneda [12] ja es proposava una distribució climàtica per a Catalunya basada en l'amplitud tèrmica de cada zona:

*“En este plano se dibujan las amplitudes térmicas superficiales máximas que puede experimentar una cubierta plana. Es un claro Indicador de las zonas en que las deformaciones del cerramiento pueden ser más Importantes. Como se puede observar las amplitudes mínimas se registran en el sector costero, aumentando hacia el interior y disminuyendo según la altitud” .*

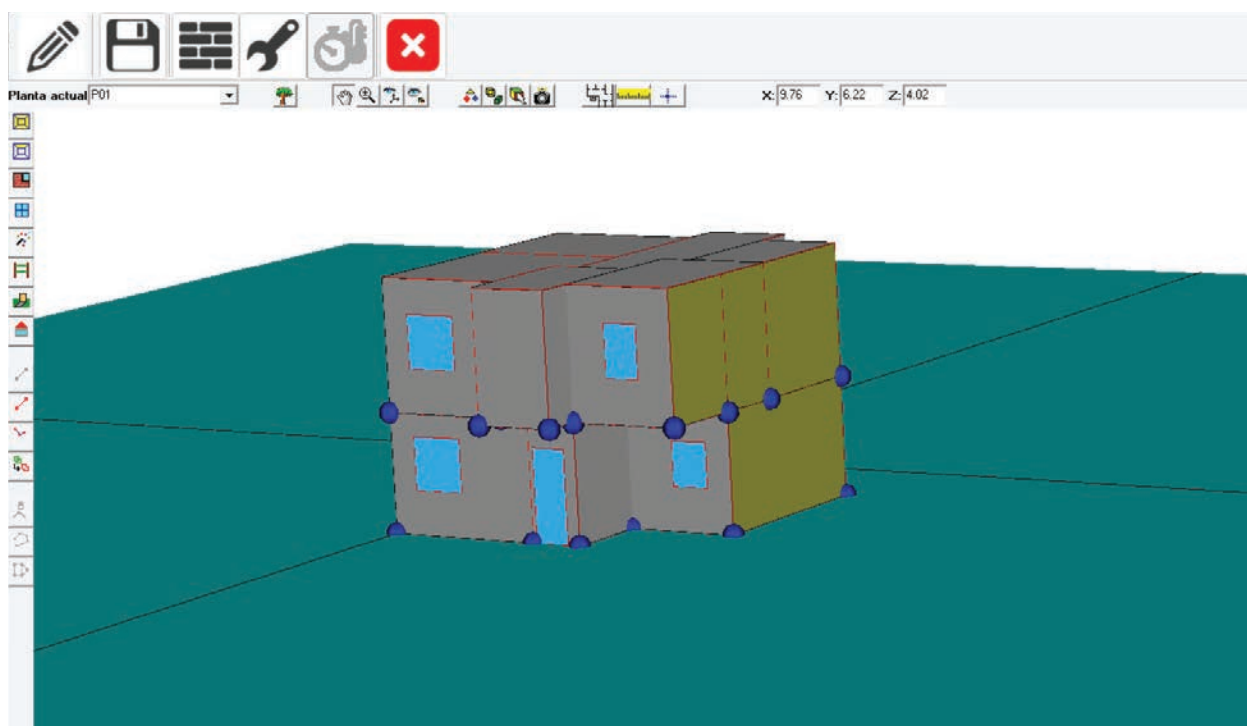


**Imatge 1.13.**

**Font:** Medio Ambiente, Comportamiento y Durabilidad Del Cerramiento Jaume Avellaneda i Díaz-Grande Dr. Arquitecto.

Per últim, cal remarcar l'últim eina de simulació energètica que ha presentat el Ministeri de Foment i la qual serà l'únic programa per determinar la qualificació energètica en els edificis nous. Aquesta eina, anomenada HULC, (Herramienta Unificada Líder Calener), ha estat provada i tal i com es mostra a continuació, sí que té en compte el color dels acabats de coberta per calcular la demanda d'energia d'un edifici. Les comprovacions es varen fer a l'octubre de 2015, en aquell moment l'eina encara no era oficial i estava en fase de proves, el que podria donar diferències si l'exercici es realitza avui.

Anàlisi de la repercussió en la demanda segons el color de la coberta en habitatge unifamiliar, segons la nova herramienta unificada LIDER-CALENER (HULC) [13]



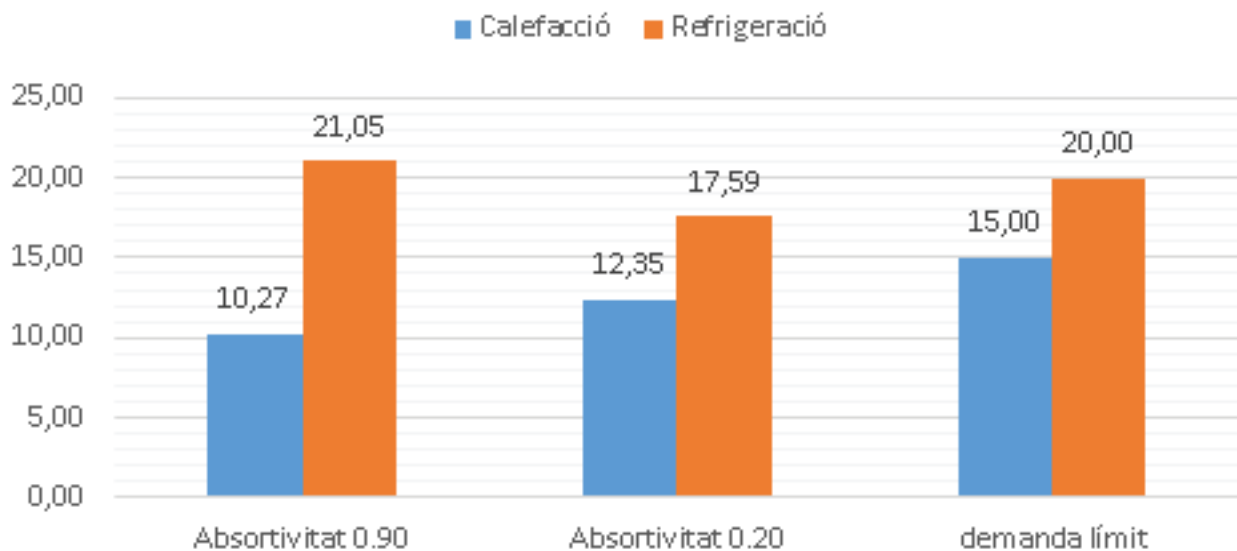
**Imatge 1.14.** Habitatge unifamiliar.Cádiz (clima A4). Font: Exemple ViV. Herramienta Unificada Lider Calener (HULC).

**Font:** XI Jornadas Aislamiento en la Construcción. Juan Venero de Castro LEED Green Associate.  
<http://www.upv.es/jornadasacustica/ponencias/HYSTON.pdf>

D'aquest exemple en modifiquem les característiques d'absortivitat de la radiació solar de l'acabat de coberta, primer molt alta 0,9 i després molt baixa (o sigui que reflexa molt) 0,2, el que significaria un acabat molt fosc i un molt clar respectivament.

Els resultats i la incidència en la demanda energètica estan a la taula i gràfiques següents:

*KWh/m2 any	Calefacció*	Refrigeració*	Suma energia (calef+ref) consumida per m² i any*	% Energia consumida per m² i any (respecte demanda límit)
Absortivitat 0.90	10.27	21.05	31.32	89.49
Absortivitat 0.20	12.35	17.59	29.94	85.54
demanda límit	15.00	20.00	35	100.00



**Gràfic 1.01.** Demandes segons absortivitat de l'acabat de coberta simulades amb el software HULC.

**Font:** OMR

Segons es veu en la taula i en la gràfica, en el cas d'una coberta clara, la demanda d'energia anual es redueix substancialment per a un clima A4.

L'exercici s'ha repetit pel mateix edifici situat a Barcelona. Evidentment, mantenint exactament les mateixes característiques constructives, la demanda del edifici era superior a la demanda límit. Per tant ha calgut modificar les solucions del tancament. Bàsicament ha consistit en augmentar el gruix de l'aïllament tèrmic fins arribar als següents gruixos:

- Coberta plana: 35 cm
- Mur exterior: 25 cm
- Mitgeres: 20 cm
- Murs en contacte amb el terreny: 10 cm.

Evidentment aquests espessors d'aïllament són exageradíssims, molt allunyats del que habitualment s'acostuma a posar. Evidentment hauria calgut canviar el tipus de fusteria i de vidre. Malgrat tot hem procedit com en el cas anterior.

	Calefacció	Refrigeració	Suma energia (calef+ref) consumida per m <sup>2</sup> i any	% Energia consumida per m <sup>2</sup> i any
Absortivitat 0.90	28.77	4.27	33.04	73.80
Absortivitat 0.20	30.82	3.24	34.06	76.08
Demanda límit	29.77	15.00	44.77	100.00

Tal i com es veu a la taula, per una absortivitat alta, l'edifici compleix amb les demandes exigides, però no és el cas quan aquesta baixa fins a 0,20.

Més enllà dels resultats finals, el més interessant que es pot constatar, és que el programa HULC ja contempla el color (definit per l'absortivitat) com una mesura que fa variar la demanda energètica d'un edifici. Per altre costat, la variable que defineix el color (l'absortivitat) no és una característica que aparegui al recull de materials definits en el CTE [14]. O sigui, malgrat l'eina contempla l'estratègia cromàtica com a mesura per reduir o no la demanda energètica, queda en les mans del projectista, determinar a quin grau d'absortivitat equival cada color.

Segons converses mantingudes amb:

- Dr. Servando Alvarez, Catedràtic de la Escuela Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad de Sevilla i Cap de desenvolupament del programari oficial per a Certificació Energètica d'Edificis, es podria adaptar un mòdul específic de cobertes fresques per al programari CALENER, de forma que es pogués tenir en compte favorablement en la simulació energètica dels edificis.

- Dr. Jordi Pasqual, Coordinador de l'Equip d'Enginyeria Bioclimàtica d'Aiguasol, es podria proposar el "coolroofing" com a una estratègia energètica a la ciutat de Barcelona. Caldria parlar-ne amb la l'Oficina de Paisatge Urbà de l'Ajuntament de Barcelona. Aiguasol ja ho ha proposat en el marc del Pla Energètic de la ciutat de Barcelona.

#### 1.1.4. INTEGRACIÓ EN EL PAISATGE. REQUERIMENTS ESTÈTICS.

Les cobertes fresques, tal i com hem anunciat, funcionen millor com més clar és l'acabat superficial. Això vol dir que els colors en que ens mourem, seran propers als blancs. Aquest acabat superficial pot no ser gens convenient, per motius estètics i culturals, en alguns paisatges [15]. Cal un anàlisi meticulós per a fixar la gamma cromàtica per a cada cas i en cada lloc.

*“Des de PAuS entenem que les inèrcies culturals es converteixen en barreres normatives, que la realitat econòmica s’encarrega de derrocar. No es tracta de convertir l’edificació d’alta muntanya en un mostrari d’artefactes, però tampoc es pot defensar una visió historicista amb normes que dificultin adaptar-se als nous temps /exigir la col·locació de pissarra en un entorn en què les pedreres es van esgotar per haver de transportar-la, exigir la pedra vista quan sabem que si es podia es revocava i aïllar per fora evita els ponts tèrmics és molt més eficient (...) l’eficiència energètica és una altra condició dels nostres socis europeus. Són noves regles de joc i un nou mercat amb nous materials, noves tècniques i noves empreses.” Fragment dels arquitectes Coque Claret i Dani Calatayud al llibre “La Casa al Pirineu, evolució arquitectura i restauració, 2011”*

Culturalment tenim poquíssims referents de cobertes de color clar. Al territori català no trobem pràcticament cap cas on les cobertes es pintin de blanc. Antigament, a les Illes Balears, a començaments d’estiu s’encalava la coberta. Això era propiciat per dos motius, climàtic –reduïa la transmissió de calor- i higiènic- l’aigua de la coberta era recollida en pous-. Durant la tardor el blanc de la calç anava desapareixent, de forma que a l’hivern, la coberta retronava al seu color original (més fosc), fins a l’estiu següent que es tronava a pintar. Estem davant un “aïllament” de manteniment anual que s’adapta a les condicions climàtiques de cada estació .



**Imatge 1.15.** Exemple de captació d’aigua en edificacions rural mallorquina.

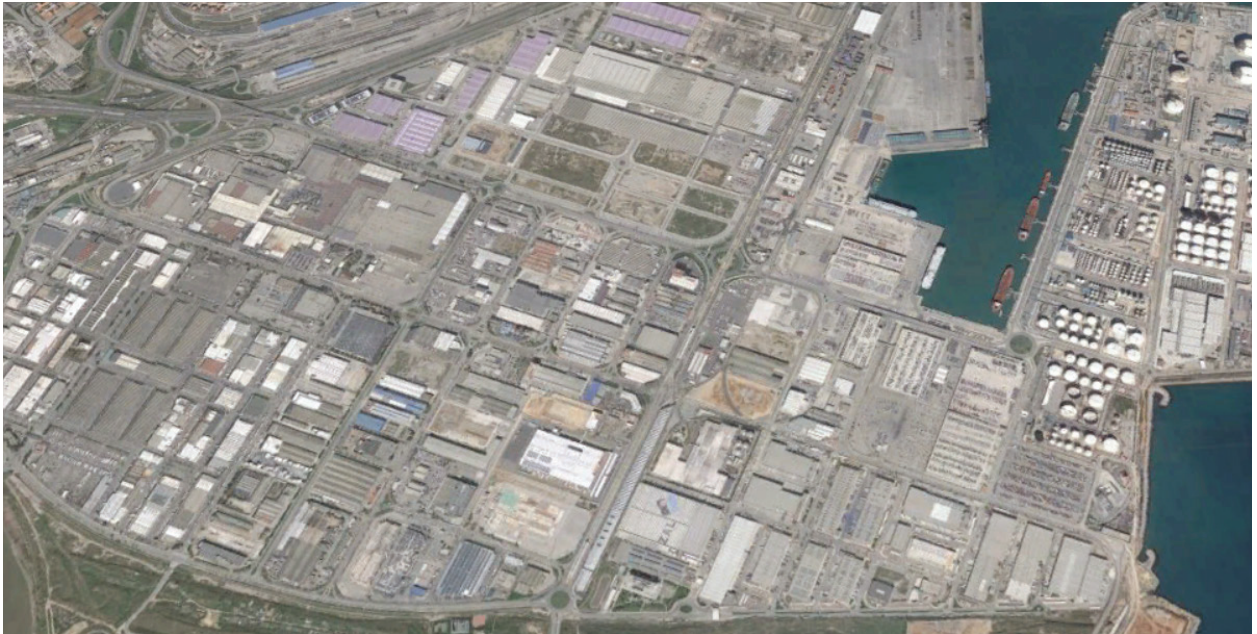
**Font:** Arquitectura Popular Española V. Carlos Flores. Ed. por Aguilar

*“Estos tejados se hacían con tres capas de materiales propios de la isla, una primera capa de madera de sabina, una segunda capa de cenizas y algas que hacía las veces de aislante y una tercera y última capa de arcilla...”*

**Font:** <http://www.bkrentacar.net/blog/las-casas-payesas-un-camino-a-seguir/>



Tot i així, en el territori català, es poden observar cobertes d'edificis terciaris o esportius, amb les cobertes realitzades amb xapes metàl·liques o membranes impermeables, aquestes sí, de color clar. En la imatge aèria (imatge 1.16) de la zona Franca de Barcelona, es pot observar com un bon nombre de naus industrials tenen un acabat de color clar.



**Imatge 1.16.**  
**Font:** Google Earth

Altes cultures, potser amb menys tradició historicista i més pragmàtiques, no han tingut cap mania en adaptar colors clars a cobertes d'edificis (imatge 1.17-1.18) residencials unifamiliars, que en els seus orígens eren fosques.



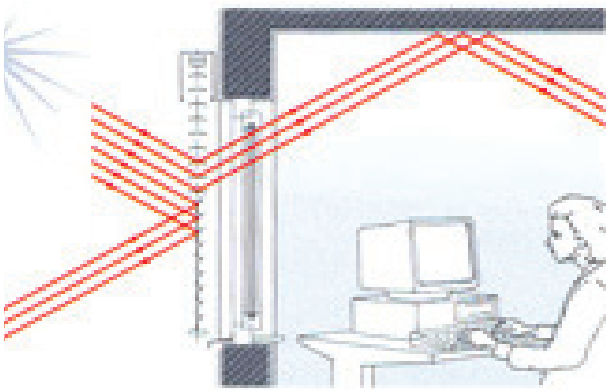
**Imatge 1.17 1.18.** Cobertes blanques. Habitatges unifamiliars a EUA  
**Font:** Daniel Nash



### Efectes Colaterals:

Un altre efecte de les cobertes de colors clars, serà la remissió de la radiació solar (degut al fenomen de la reflexió). Segons la posició de les cobertes respecte altres edificis, pot generar incomoditats i motius de conflicte per enlluernaments indesitjats.

Cal però reconèixer, que aprofitar aquesta característica de la reemissió pot ajudar a fer arribar la llum fins alguns punts de l'edifici molt més interiors, i per tant ajudar en la reducció de consum per a il·luminació, o revitalitzar espais residuals (imatges 1.19 i 1.20). Aquesta estratègia ja ha estat desenvolupada per elements arquitectònics com les persianes, o miralls que introdueixen la radiació directa fins a l'interior de patis de ventilació



**Imatge 1.19.**

Font: <http://www.tolder.es/esp/index.php>



**Imatge 1.20.**

Font: <http://www.espaciosolar.com/patios-de-luz.htm>

Hi ha també exemples molestos (imatge 1.21) i fins i tot nocius de la reflexió de la radiació solar. Un exemple d'aquest efecte nociu queda descrit a la següent notícia:



**Imatge 1.21.**

Font: <http://www.lavanguardia.mobi/slowdevice/sucesos/20130903/54379964982/reflejo-rascacielos-londres-causa-danos-jaguar.html>

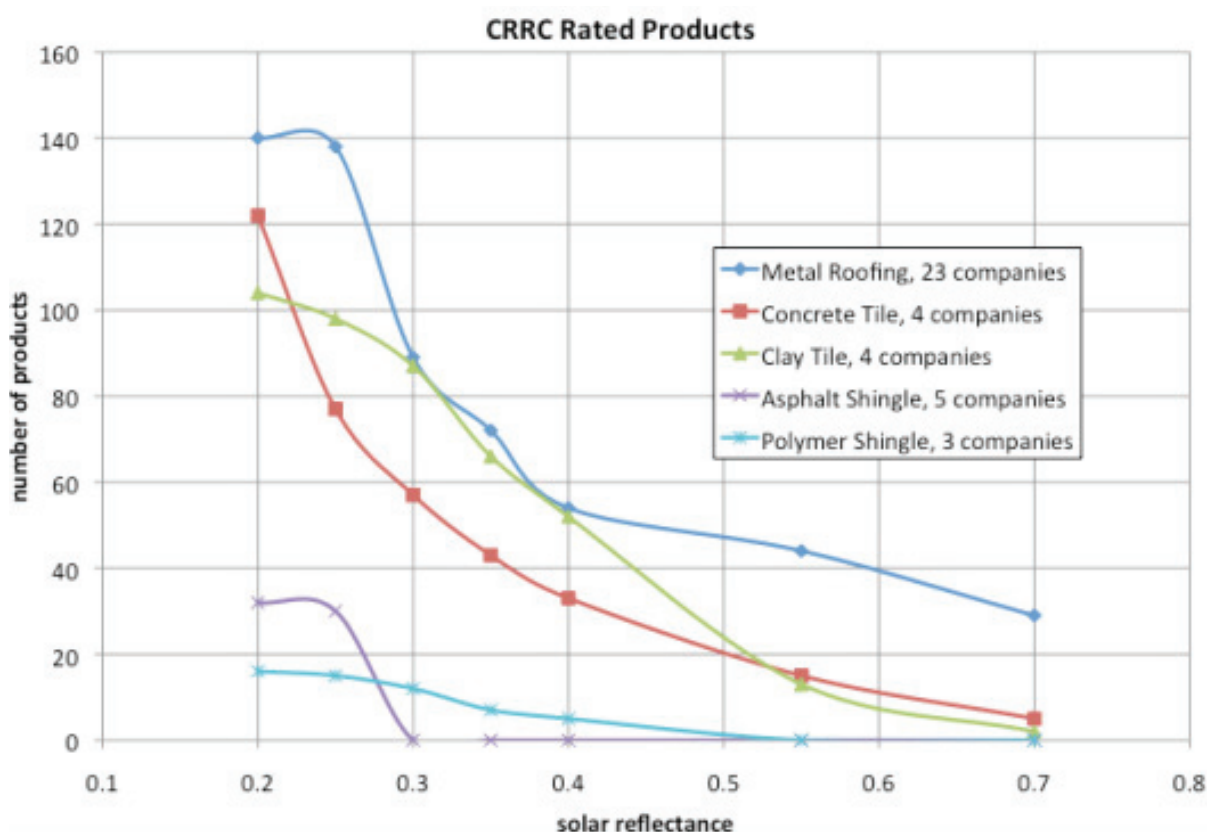
*Londres. (EFE).- El reflejo del sol desde los cristales de un rascacielos en construcción en la City de Londres, centro financiero, ha causado daños en un automóvil Jaguar aparcado cerca del lugar, lo que obligará a los propietarios del edificio a revisar el diseño...*

Cal ser conscient que, la sensació en una coberta fresca de color blanc es similar a la d'estar entre un paisatge nevad, on ens trobem que la radiació que incideix sobre el nostre cos no només ve de la direcció del sol, sinó que et ve de totes les direccions. És doncs un acabat que dificulta o impossibilita segons quines activitats o usos en la coberta –si més no durant les hores de més radiació–

Ara bé, si l'ús principal de la coberta es la captació de la radiació – plaques solars fotovoltaïques o tèrmiques– pot potenciar aquest efecte. Així l'ús a que pretenguem destinar la coberta serà un factor determinant per escollir un tipus o un altre d'acabat.

Per últim es vol insistir que, malgrat les cobertes amb acabat de color blanc, son les que funcionen millor en el fenomen de reflexió, cal desterrar la idea equívoca d'assimilar coberta fresca amb coberta blanca.

Si ens fixem en la borsa de productes qualificats per CRRC (Cool Roof Rating Council) a partir de la definició del paràmetre SRI (Solar Reflectance Index) veiem que existeixen acabats per a cobertes fresques de tots els colors i materials (imatge 1.22). En el quadre següent, s'ordenen els productes cool roof segons el seu índex de reflexió (abscisses) i el nombre de productes qualificats (ordenades). Cada una de les corbes representa un material diferent.



**Imatge 1.22.** A la taula adjunta hi ha una distribució dels materials per a cobertes inclinades avalats per CRRC (any 2010).

**Font:** Cool Roof Rating Council

Cal identificar en quins tipus de cobertes l'estratègia serà més eficient i eficaç per els usuaris de l'edifici. Quines característiques físiques ha de tenir el conjunt de la solució de coberta per potenciar de la millor manera les virtuts de les cobertes fresques.

De totes maneres, la majoria de municipis disposen d'ordenances, les quals determinen la geometria, el materials i els colors que han de tenir les cobertes. Revisem en quin sentit limiten els acabats aquetes normatives.

#### 1.1.5. ORDENANCES I NORMATIVES:

Aquest punt no pretén ser una revisió exhaustiva de les normatives urbanístiques dels municipis catalans, sinó que es tracta d'un recull d'exemples on el redactat i condicions de les normatives, faria difícil d'implementar una coberta fresca. Tot i així, tal com s'ha dit en el punt anterior, és factible transformar materials de qualsevol naturalesa i característiques en materials caracteritzats com a freds.

Un primer grup fa referència a prohibicions explícites i que afecten majoritàriament a normatives constructives d'àmbit municipal.

Però també s'identifica un segon grup, el que fa referència a les ajudes per a la rehabilitació, on per omisió o per falta de coneixement, no incentiven la construcció de cobertes fresques.

Es comenten únicament les de la ciutat de Barcelona. (Les NOTES al final de cada frase, són comentades al final de paràgraf. Text enquadrat):

#### NORMATIVES I ORDENANCES MUNICIPALS:

1. ORDENANÇA MUNICIPAL DELS USOS DEL PAISATGE URBÀ DE LA CIUTAT DE BARCELONA Subsecció 6a. Terrats i cobertes (pag 29)

*Article 74. Terrats:*

##### *1. Tractament d'acabats en terrats transitables*

*S'admet l'execució dels acabats dels terrats de manera homogènia, **tractats preferentment amb rajola ceràmica fina de color natural.***

*S'accepten altres solucions d'acabat sempre que abastin la totalitat de la superfície o formin part d'una especial distribució projectual. (nota 1)*

*En el cas d'aplicació de teles impermeables vistes, no s'admeten els acabats negres, ni xapes de **protecció aluminica reflectant** (nota 2) o similars si no són tractades amb pintures cromàticament adients amb l'entorn.*

## *2. Tractament d'acabats en terrats no transitables*

*S'apliquen als terrats no transitables les limitacions relacionades en el punt anterior, si bé s'admeten també acabats homogenis de palets de riu o similar i altres, sempre que llur textura i color no sigui causa d'una ruptura o impacte visual significatiu. (nota 3)*

Nota 1: Es permetria en aquest cas una coberta fresca?. és homogènia, abasta la totalitat de la superfície....poden ser tractades amb pintures "cromàticament adients" amb l'entorn

Nota 2: I membranes blanques reflectants, serien un tractament cromàticament adient amb l'entorn?

Nota 3: Cal definir quin és l'impacte visual significatiu. Una coberta fresca de color clar, ho es?.

## *Article 75. Cobertes inclinades (nota 4):*

*En cas d'intervenció en edificis amb cobertes inclinades, es respectaran les solucions, elements i cromatisme originaris de l'edifici. En edificis de nova planta s'utilitzaran solucions coherents amb la seva arquitectura.*

Nota 4: Aquest tipus de cobertes no són objecte d'estudi d'aquest document, però es vol remarcar l'actitud continuïsta en els materials que defineix l'ordenança

L'ordenança si que fa esment de les cobertes enjardinades (també considerades com a fresques). Sobre aquestes defineix:

## *Article 76. Usos admesos en terrats:*

### *2. Col·locació de jardineres i testos:*

*També es permet la col·locació de **superfícies enjardinades** en els terrats, sempre que es compleixin les condicions següents:*

*a) Que el projecte contingui una proposta tècnica i compositora de l'enjardinament, i l'estudi de l'impacte en el mateix edifici i en els edificis veïns.*

b) Que s'utilitzin els sistemes adients per a la protecció de l'edifici.

c) Que no s'incorporin a l'edifici construccions ni instal·lacions complementàries, com pèrgoles, porxades i construccions annexes per sobre de l'alçada reguladora.

2. Per altre costat, en la CONVOCATÒRIA D'AJUTS A LA REHABILITACIÓ A LA CIUTAT DE BARCELONA PER L'ANY 2013, no fa cap referència al Grau de Reflexió de les cobertes, simplement a la transmitància global de la solució:

#### **A.2.1.2. I A.2.2.2. TERRATS I COBERTES**

*Aquella intervenció que requereixi la substitució o renovació del terrat o la coberta, entenent per aquesta tota actuació que comporti una modificació de la secció constructiva del tancament original, serà objecte de protecció sempre i quan es compleixin els requeriments energètics que garanteixin una transmitància màxima de  $U_{Clim} = 0,41 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ . (nota 5) Aquestes actuacions es classificaran com a segon nivell de rehabilitació energètica.*

*Les propostes d'actuació hauran d'abastar tots aquells elements i superfícies amb patologies o manca de manteniment, que constitueixen els terrats de la finca.*

*A aquests efectes les lluernes, claraboies, ampits, badalots, trasters, etc., es consideren elements integrants del terrat.*

*Totes les actuacions seran completes i tindran cura de tot allò que sigui necessari per al seu bon funcionament (minvells, desguassos, pendents, canonades, etc).*

*Per a garantir la duració i la bona execució de les obres de reparació de la superfície d'una teulada o terrat, es disposa com a intervenció mínima la substitució. En cap cas s'acceptaran solucions sobreposades als elements existents. (nota 6)*

*Excepcionalment, i degut a les seves característiques arquitectòniques particulars, el manteniment de les cobertes a la catalana (nota 7) podran obtenir el primer nivell de rehabilitació energètica sense necessitat d'assolir els nivells d'aïllament de les altres solucions constructives.*

*Aquest manteniment haurà de garantir la ventilació associada als sistemes tradicionals constructius de la coberta a la catalana.*

Nota 5: Es pot justificar la transmitància màxima si aconseguíssim una fórmula que equiparés la reflexió a un gruix d'aïllament, almenys per les èpoques càlides?

Nota 6: Moltes cobertes convencionals poden transformar-se en cobertes fresques sobreposant un material de revestiment que millori la seva reflexió.

Nota 7: El text si que es sensible amb una solució complementària a la transmitància, com és la disposició d'una cambra ventilada, molt usada a la ciutat de Barcelona.

De totes maneres, la futura llei de Canvi Climàtic de la Generalitat de Catalunya [16] (actualment en estat d'avantprojecte de llei), a l'Article 22, Urbanisme i habitatge en el punt 2 c) defineix: "El foment de les mesures necessàries per a la millora del clima urbà, en especial la reducció dels efectes de les **illes de calor urbana**." Per tant, tal i com s'ha mostrat en l'estat de l'art, les cobertes fresques són una bona estratègia per a la reducció de la calor en àrees urbanes.

Ja sigui per motius de confort dels espais situats directament sota la coberta, com de sobreescalfament d'àrees urbanes (efecte illa de calor), de ben segur que les cobertes fresques s'acabaran imposant, doncs, aquest últim tema cada cop té més importància.

## 1.2. RAÓ DE LES COOL ROOF

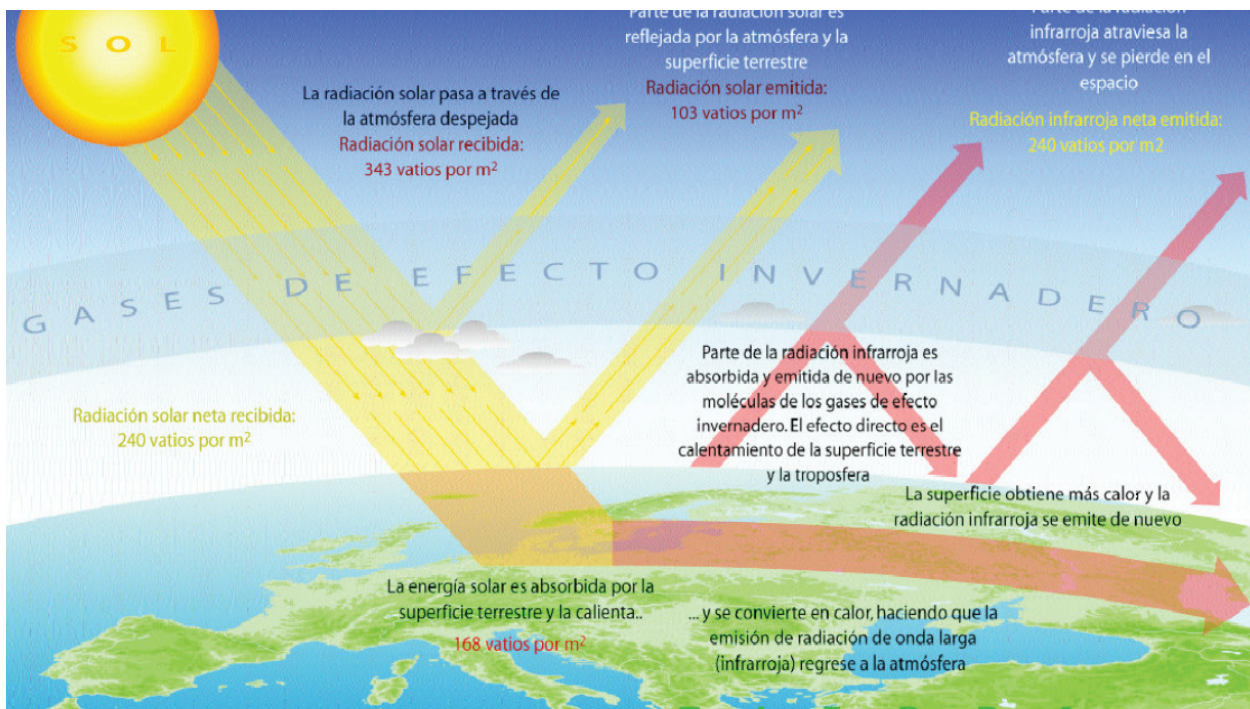
### 1.2.1. CLIMÀTICS

Actualment el 50% de la radiació solar incident al nostre planeta és absorbida per la superfície terrestre, formada per gel, terra, aigua i, cada cop més, per les noves superfícies antròpiques (teulades, façanes, carreteres, talussos, preses, aeroports, etc.). La capacitat d'absorció/reflexió d'aquesta radiació solar no és la mateixa per a cada material natural (gel, terra, aigua) o artificial (metall, asfalt, ciment, ceràmica, etc.)

El "color" de la superfície irradiada determina el percentatge de radiació absorbida o reflectida. Les superfícies "negres" poden arribar a absorbir el 90% de l'energia solar incident i això ho notem físicament perquè les notem més "calentes" al tacte. Es quan diem que el sol les escalfa. Les superfícies "blanques" poden arribar a reflectir fins 90% de l'energia solar incident i les notem més "fredes" al tacte.

Les superfícies terrestres que ens envolten i que formen el nostre entorn, un cop han absorbit part de la radiació solar incident, s'escalfen (augmenta la seva temperatura) i re-emetten part d'aquesta energia en forma radiant però en el rang de l'espectre infraroig proper (NIR), de longitud d'ona més llarga. Part d'aquesta energia de radiació ja no travessa els gasos del que està formada l'atmosfera (i això ocasiona l'efecte hivernacle) i contribueix a incrementar la temperatura a la l'atmosfera mes propera a la superfície del planeta.





**Imatge 1.23.** L'efecte hivernacle.

**Font:** Cuidar el clima. CMNUCC. Guía de la Convención sobre el Cambio Climático y el Protocolo de Kyoto, 2005

Per tal de modificar aquest efecte no desitjat, tenim dues opcions. La primera, seria retrocedir fins a una fase inicial i retonar a superfícies naturals. La segona, modificar les superfícies construïdes per tal que reflectint un percentatge major de la radiació solar, aconseguint que s'escalfin menys, i conseqüentment re-emetin menys calor a l'atmosfera. D'aquesta manera podríem mitigar en certa mesura l'escalfament global que provoca l'efecte hivernacle [17] –resultat de la emissió dels gasos d'efecte hivernacle emesos a l'atmosfera-.

L'activitat humana, de forma voluntària o involuntària es susceptible de modificar el clima d'un entorn concret. Un clar exemple en són les illes de calor en les zones urbanes. Però hi ha exemples d'accions que han provocat l'efecte contrari.

Una d'elles és l'activitat que està desenvolupant la “ONG Glaciers del Perú” Aquest projecte consisteix en pintar de blanc els Andes Peruanos (imatge 1.24) per tal de disminuir la temperatura de la zona i afavorir la formació de gel.

Degut a l'augment de temperatures atmosfèriques el gel es fon, llavors, apareix la terra, de color més fosc i que per tant s'escalfa més, augmentant la temperatura de l'entorn i conseqüentment facilitant el desgel de les glaceres, en un cercle que no parará d'augmentar.





**Imatge 1.24.**

**Font:** <http://www.tiempo.com/ram/11931/%C2%BFque-fue-de-este-proyecto-restaurando-los-glaciares-pintando-montanas/>

Un cop pintats al voltant de 15.000m<sup>2</sup> a 4200m d'alçada els resultats han estat impressionants, la temperatura ha arribat a ser 16°C inferior respecte a altres zones no pintades i ha provocat la formació de gel en llocs que feina decennis no n'hi havia. L'esperança és que les glaceres deixin de remetre assegurant l'emmagatzematge d'aigua totalment necessari per garantir la vida a les zones més baixes de la vall.

Un segon exemple, molt més proper a nosaltres, i ja provat científicament, és la conseqüència que ha tingut la implantació de milers de metres quadrats d'hivernacles a la zona d'Almeria. A continuació es copia un fragment de la notícia:

*“Científicos de la Universidad de Almería, la Estación de Zonas Áridas del CSIC y la Universidad Politécnica de Madrid, han publicado un estudio donde concluyen que la cubierta de plástico de los invernaderos ha reducido durante los últimos 25 años la temperatura del aire sobre el Poniente almeriense, amortiguando así los efectos del calentamiento global en esta comarca. Esto se debe a la reflexión...” Pablo Campra [18] (2008)*

**Font:** <http://www.besana.es/es/web/revista/200909/article.2009-09-16.0551642001>

Tal i com fan palès aquests dues notícies és evident que l'acció de l'home es perfectament capaç de modificar el clima. Fins ara la tendència ha estat a crear superfícies que absorbeixen bona part de la radiació i emeten calor, tendint a augmentar la temperatura de l'entorn. Cal ara invertir aquesta dinàmica i convertir aquestes superfícies captadores en superfícies que reflecteixin i es mantinguin a temperatures inferiors.

Les noves superfícies conquerides a la natura, haurien d'estar formades per materials que absorbeixin el mínim percentatge de la radiació solar. Els dos exemples exposats ho fan amb superfícies blanques, però tal i com es veurà, no es obligatòriament només aquest rang cromàtic el que té incidència en l'absorció. Centrats en l'arquitectura, queda clar que no es indiferent el tipus d'acabat d'una coberta, ja s'ha demostrat que afecta el clima de la zona, però també influencia en els espais interiors habitables situats just dessota.

En el futur tots els edificis haurien d'intervenir el mínim a modificar el clima de l'entorn. I és justament per treballar en aquesta direcció que cal aprofundir en les característiques de comportament a la radiació solaren dels materials que ens serveixen per a revestir cobertes. Només amb el coneixement exhaustiu de les característiques dels materials aconseguirem cobertes fresques que reflecteixin bona part de la radiació.

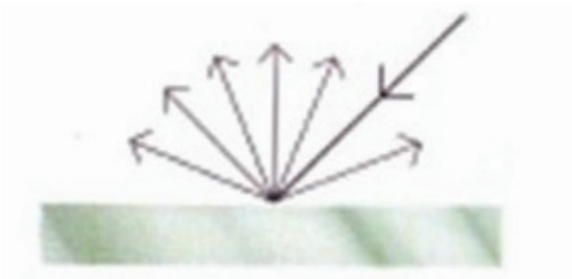
Cal anotar però que aquesta estratègia de control climàtic ha de ser complementària a d'altres, ja que la radiació solar no ha estat el desencadenant de l'actual escalfament planetari. Són les emissions de gasos d'efecte hivernacle. Ara bé modificar el grau d'absorció ens permet no seguir escalfant l'entorn mentre disposem d'un temps addicional per reduir els gasos d'efecte hivernacle.

### 1.2.2. LES PROPIETATS FÍSQUES BÀSIQUES

Com més coneixement es tingui sobre les propietats físiques dels materials més efectivitat podran tenir les diferents opcions constructives que es plantegin i més idoni serà el material amb que es proposin les solucions.

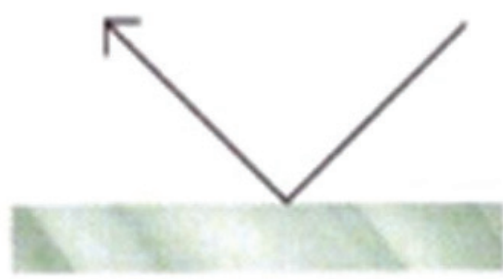
Les propietats bàsiques considerades per als materials de revestiment de coberta seran:

- La reflexió (SR). Es refereix a la proporció de la radiació que no és absorbida per la superfície en que incideix. Es mesura en percentatge. Aquesta pot ser:
  - Difosa
  - Lambertiana especular



**Imatge 1.25.** Reflexió difusa

Font: <http://ca.wikipedia.org/wiki/Reflexi%C3%B3>



**Imatge 1.26.** Reflexió especular

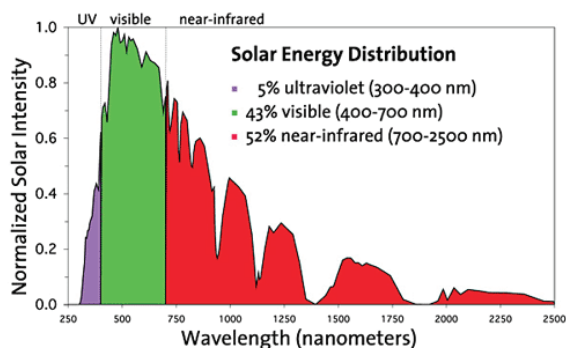
La primera –difosa– ens pot ser una estratègia complementària per millorar el rendiment dels panells solars, la segona ens permetrà redirigir la radiació.

- L'emissivitat (IE): entenent com la facilitat de la superfície del material per radiar calor. Aquesta característica varia en funció de la temperatura del cos. És la relació entre l'emissió tèrmica d'una superfície i la màxima teòrica possible a la mateixa temperatura. Varia entre 0 i 1. -  $\epsilon$  -. Com major és el valor, més capacitat d'emetre l'emissió tèrmica
- L'absorbància, la qual depèn de l'absorció superficial de l'acabat de coberta (bàsicament del color i els pigments) i segons la longitud d'ona que reflexa direm que és:

- Absorbància solar: inclou la fracció d'ona visible, infraroig i ultravioleta.

- Absorbància visible: inclou la fracció visible.

- Absorbància tèrmica: la qual representa el percentatge que absorbeix de l'ona curta infraroig proper, en la que hi ha continguda aprox. el 50% de l'energia del total del raig solar. Reduint aquesta última aconseguirem tenir colors “freds”, els quals es caracteritzen per ser del mateix color que el seu homòleg però reflexa la porció de radiació d'infraroig, i per tant s'escalfa menys.



**Imatge 1.27.** Distribució d'energia en l'espectre d'ona de la radiació solar.

Font: <https://heatisland.lbl.gov/coolscience/cool-roofs>



**Imatge 1.28.** Comparativa de dues mostres metàl·liques pintades del mateix color, la diferència de temperatura es deu a que un dels revestiments absorbeix la radiació infraroja i l'altre no.

Font: OMR

El CATÀLOGO DE ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS DEL CTE [19] defineix les característiques físiques de densitat, conductivitat tèrmica, calor específic i capacitat tèrmica, però en canvi especifica característiques com reflectivitat, absorptància i emissivitat

Per tal d'implementar les cobertes fresques caldria un inventari de tots els materials de coberta en el qual es definís les característiques de reflexió (o absorptància) i emissivitat.

Programes de simulació com l'Energy Plus o el DesignBuidier requereixen d'aquests valors per a la definició energètica dels materials.

A continuació s'adjunten dues taules amb valors o els percentatges de reflexió i emissivitat respectivament. La taula ens donarà una noció de quins materials són susceptibles de ser utilitzats en cobertes “cool roof.”

Color	Factor de reflexió	Material	Factor de reflexió
Blanc	0.70-0.85	Mortor clar	0.35-0.55
Sostre acústic blanc		Mortor obscur	0.20-0.30
Gris clar	0.50-0.65	Formigó clar	0.30-0.50
Gris obscur	0.40-0.50	Formigó obscur	0.15-0.25
Negre	0.10-0.20	Gres clar	0.30-0.40
Crema, groc clar	0.03-0.07	Gres obscura	0.15-0.25
Marró clar	0.50-0.75	Maó clar	0.30-0.40
Marró obscur	0.30-0.40	Maó obscur	0.15-0.25
Rosa	0.10-0.20	Marbre blanc	0.60-0.70
Vermell clar	0.45-0.55	Granit	0.15-0.25
Vermell obscur	0.30-0.50	Fusta clar	0.30-0.50
Verd clar	0.10-0.20	Fusta obscura	0.10-0.25
Verd obscur	0.45-0.65	Mirall vidre platejat	0.80-0.90
Blau clar	0.10-0.55	Alumini mate	0.55-0.60
Blau obscur	0.05-0.15	Alumini anoditzat	0.80-0.85
		Acer pulit	0.55-0.60
		Coure	0.48-0.50
		Crom pulit	0.60-0.70
		Crom mate	0.52-0.55
		Fusta clara bedoll	0.55-0.65
		Fusta de roure clara	0.40-0.50
		Fusta de roure obscura	0.15-0.40
		Fusta nogal	0.15-0.40

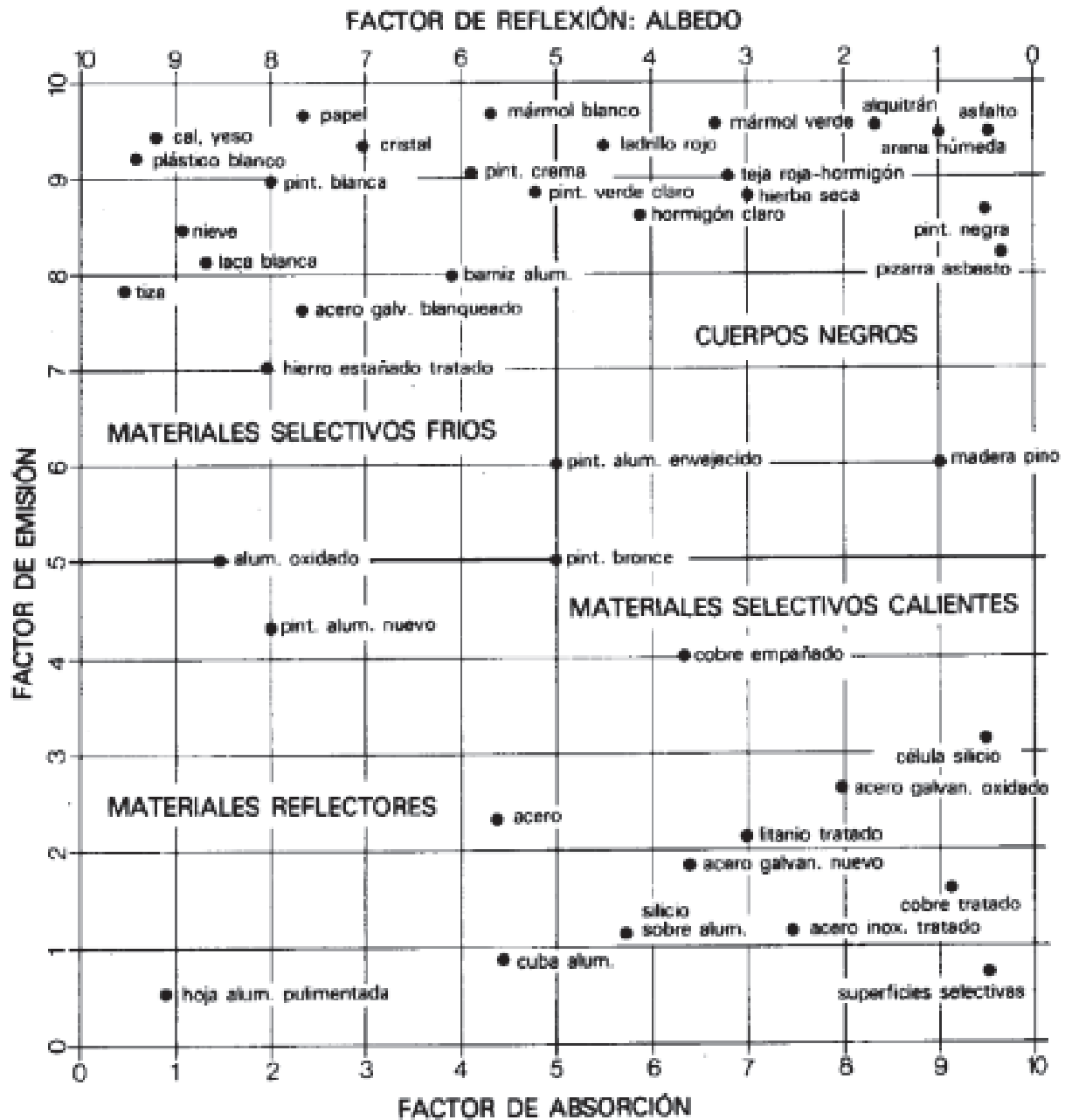
**Taula 2.01.**

**Font:** Factores de reflexión de distintos colores y materiales para luz blanca. Sep 08, 2013 by Yelsin Palomino Saldaña

Aluminio, muy oxidado (93°C)	0.20	Plomo, oxidado (40°C)	0.43
Aluminio, muy pulido(100°C)	0.09	Mármol, blanco(40°C)	0.90
Aluminio, no oxidado (25°C)	0.02	Óleos (todos los colores) (90°C)	0.92-0.96
Aluminio, no oxidado (100°C)	0.03	Pintura, negro mate (80°C)	0.97
Auminio, laminado (170°C)	0.04	Pintura, azul sobre hoja de aluminio (40°C)	0.78
Latón, oxidado (200°C)	0.61	Pintura blanca (90°C)	0.95
Ladrillo, mortero, yeso (20°C)	0.93	Pintura, amarilla, 2 capas sobre hoja de aluminio (40°C)	0.79
Ladrillo a la vista (40°C)	0.93	Papel (20°C)	0.97
Fundición, oxidada (200°C)	0.64	Plásticos: PE, PP, PVC (20°C)	0.94
Cromo (40°C)	0.08	Porcelana (20°C)	0.92
Cromo, pulido (150°C)	0.06	Radiador, anodizado negro (5°C)	0.98
Cerámica, cocida (70°C)	0.91	Goma, dura (23°C)	0.94
Concreto (25°C)	0.93	Goma, blanda, gris (23°C)	0.89
Cobre, oxidado (130°C)	0.76	Arenisca (40°C)	0.67
Cobre, pulido (40°C)	0.03	Acero, enrollado (93°C)	0.75-0.85
Cobre, enrollado (40°C)	0.64	Acero, tratamiento térmico (200°C)	0.52
Cobre, deslustrado (20°C)	0.04	Acero, oxidado (200°C)	0.79
Corcho (20°C)	0.70	Pintura de transformador (70°C)	0.94
Algodón (20°C)	0.77	Madera (70°C)	0.94
Vidrio (90°C)	0.94	Zinc, oxidado	0.10
Granito (20°C)	0.45	Plomo, oxidado (40°C)	0.43
Yeso crudo (20°C)	0.9	Mármol, blanco(40°C)	0.95
Hielo, sup. lisa (0°C)	0.97	Óleos (todos los colores) (90°C)	0.92-0.96
Hierro, esmerilado(20°C)	0.24	Pintura, negro mate (80°C)	0.97
Hierro con costra de fundición (100°C)	0.80	Pintura, azul sobre hoja de aluminio (40°C)	0.78
Hierro con costra de laminado (20°C)	0.77	Pintura blanca (90°C)	0.95
Plomo (40°C)	0.43	Papel (20°C)	0.97

**Taula 2.02.****Font:** Tabla emisividad. <https://www.testo.com>

Entre la emissivitat i el grau de reflexió hi ha una clara correlació. A la imatge 2.29, P. Bardou [20], engloba en una sola taula les propietats dels materials. Aquesta classificació juga amb les variables d'absorció, reflexió (albedo) i emissió (emissivitat),



Imatge 2.29.

Font: "Propietats radiants de materials comunes en construcció" Arquitecturas de adobe (Bardou, Patrick)

Tal i com es veu en el quadre (imatge 2.29), classifica els materials en quatre quadrants:

- Materials selectius freds:
- Materials selectius calents:
- Cossos negres:
- Materials reflectors:



Evidentment els materials que més ens interessaran per a les cobertes fresques seran els selectius freds (aquells amb major índex d'emissivitat i reflexió). Per la seva elevada capacitat de reflexar, s'escalfaran molt poc i aquell augment de temperatura que li provoqui la fracció de radiació solar absorbida, serà fàcilment re-emesa, o sigui, com a tals es mantindran a temperatura relativament similar a l'aire que els envolta. Per contra una placa solar tèrmica requerirà de materials selectius calents, per que l'eficiència que ens demana el seu rendiment requereix una elevada absorció i una baixa emissivitat.

I és basat en aquest principis que el CRRC defineix el SRI.

Solar Reflectance Index (SRI): El SRI, ofereix una valor que mesura la capacitat d'un material de rebutjar els guanys provocats per la radiació solar. Aquest valor és la interpolació entre del material entre un material negre estàndard (SR0.05 i IE 0.9) i un blanc estàndard (SR0.8 i IE 0.9). Per el primer el valor del SRI seria 0 i 100 per el segon. Així doncs, com més proper a 100 tingui un material el seu SRI, millor serà per a una coberta fresca.

Així, d'acord amb el SRI, un material amb baixa emissivitat podria arribar a mantenir-se fresc només si té un reflexió molt alta. El paràmetre de la reflexió, serà doncs determinant, mentre que l'emissivitat té una influència menor.

El paràmetre SRI (Solar Reflectance Index), ajuda a definir les cobertes fresques i és combinació dels índex de reflexió i emissivitat del material.

El Lawrence Berkeley National Laboratory ha desenvolupat un full de càlcul el qual mitjançant els valors de reflexió i emissivitat calcula l'SRI. Aquest està disponible a:

<http://coolcolors.lbl.gov/assets/docs/SRI%20Calculator/SRI-calc10.xls>

A més a més, tal com fa el CRRC [21] en el seu catàleg de productes testats caldria definir el valor de reflexió inicial i un cop envellit alterat per la pols i l'efecte degradador dels meteors atmosfèrics.

### 1.2.3. TÈCNICS I CONSTRUCTIUS.

És evident que el cicle del calendari anual fa que en les latituds intermèdies no tot l'any sigui plenament desitjable aquest efecte reflectant de la radiació solar propi de les superfícies blanques. Pot ser que a l'hivern interressi que les superfícies de les cobertes arquitectòniques hagin de ser més "negres" per a captar l'energia del sol i evitar la dependència dels combustibles fòssils cara a escalfar l'edifici.



Les superfícies dels terrats estan sotmeses als agents atmosfèrics com el vent, la pluja, la pols, la neu o la contaminació. Aquests fenòmens alteren parcialment les seves condicions de reflexió. Això és especialment cert en el clima Mediterrani on, cada cop més, s'alternen períodes llargs de sequera amb episodis de pluges torrencials.

Tampoc es pot oblidar que el sol es mou pel cel al llarg del dia i que la seva radiació incideix amb diferents angles sobre les superfícies terrestres, i àdhuc arriba a la nit on és totalment absent. En una nit clara la superfície del terrat es troba encarada a un cel negre i fred i, per tant, ara és el terrat el que emet radiació (en funció de la temperatura que ha assolit quan li tocava el sol) contra el cel, col·laborant a un efecte de refredament radiant nocturn de l'edifici.

Aquestes contingències fan que la realitat sigui molt més complexa i canviant que els possibles estudis realitzats en un laboratori. La implementació de materials “frescos” com a revestiment d'una coberta, es pot veure sotmès a una sèrie d'inclemències climàtiques i d'us, que poden arribar a frustrar el propòsit inicial de la coberta fresca. I això es pot donar per excés o per defecte. O sigui, que l'efecte reflectant generi incomoditats a tercers, com que l'efecte no tingui la l'impacte esperat sobre l'estalvi energètic.

A més a més la coberta, poques vegades es una de les cares visibles de l'edifici, i és el punt on desemboquen bona part dels gasos residuals (fums, bafs...). Per una qüestió d'eficiència, també és el punt on es situaran els captadors energètics (plaques solar, molins de vent...) i per acabar-ho d'arreglar i trobem també les antenes, evaporadors, roba estesa... Per últim, cal dir que la coberta té, com a tancament, els mateixos requeriments que una façana, però amb el greuja d'haver de protegir un pla horitzontal [22]. Les cobertes són, segurament el sistema de la construcció, més fràgil i menys valorat.

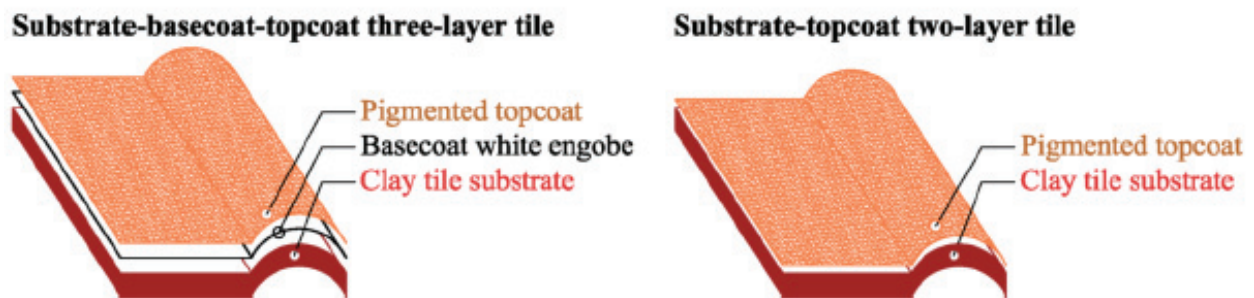
Tots aquests condicionants fan que la coberta acabi sent una superfície molt exposada, amb més patologies i lògicament requerir de constant manteniment.

I a nivell tècnic caldrà veure com podem transformar els productes habitualment usats en les construccions de l'àrea mediterrània catalana per a transformar-los en revestiments “freds”. Avui en dia la majoria dels pigments, tints o colorants comercials són de síntesi i s'incorporen dins d'altres materials que els fan de vehicle i d'aglomerant. El resultat és una barreja formada pel pigment, el dissolvent i els fixadors.

En la major part dels casos, i sobretot per efectivitat comercial facilitat d'aplicació, aquesta barreja (el revestiment “fred”) s'aplica superficialment per la qual cosa s'ha de garantir a més l'adherència al material que fa de suport (substrat).

Pel bon rendiment “solar” d’un revestiment “fred” cal controlar:

- el gruix de la capa o capes aplicada de revestiment *cool*, [15]
- la concentració de pigment (pot haver-hi més d’un pigment bàsic en el cas de colors complexos) dins de la capa de barreja [23]
- i el color propi del material del substrat, el material el qual estem revestint



**Imatge 2.30.** Prototips de teules amb els revestiments “freds”

**Font:** “Development of Clay Tile Coatings for Steep-Sloped Cool Roofs”. *Energies* 2013, 6, 3637-3653

Caldrà una bona dosi de pedagogia, tan en els usuaris, com en els tècnics i constructors per tal d’implementar de forma extensiva les cobertes fresques. Als Estats Units aquesta tasca és duta a terme per Energy Star [24], el que per nosaltres seria l’IDAE o l’ICAEN.

## REFERÈNCIES:

- [1] «<http://coolroofs.org/>,» [En línia].
- [2] «<http://coolroofcouncil.eu/>,» [En línia].
- [3] «<http://www.energy.ca.gov/title24/>,» [En línia].
- [4] Albert Cuchí, amb la col·laboració d'Anna Pagès, «Sobre una estrategia para dirigir al sector de la edificación hacia la eficiencia en la emisión de gases de efecto invernadero (GEI).», Octubre de 2007.
- [5] M. Batty, R. Carvalho, A. Hudson-Smith R. , «Scaling and allometry in the building geometries of Greater London,» Eur. Phys. J. B 63, pp. 303-314, 2008.
- [6] «<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps/radmonth.php>,» [En línia].
- [7] «<https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/en/projects/cool-roofs>,» [En línia].
- [8] GRUP DE TREBALL II DEL GRUP INTERGOVERNAMENTAL D'EXPERTS SOBRE EL CANVI CLIMÀTIC (GIECC). Generalitat de Catalunya, «POSSIBLES IMPACTES EXTRETS DEL CAPÍTOL D'EUROPA DEL QUART INFORME D'AVALUACIÓ (2007) . <http://canviclimatic.gen-cat.cat/web/.content/home/>,».
- [9] La salut a Barcelona 2003, «Impacte de l'ona de calor sobre la salut a la ciutat de Barcelona l'estiu del 2003.,» 2003.
- [10] Mat Santamouris Professor Group Building Environmental Studies Physics Department University Athens, « <http://coolroofcouncil.eu/welcome.php>,» [En línia].
- [11] Evolució de la temperatura de Barcelona des de 1780 fins a l'actualitat, « <http://w1.bcn.cat/temps/ca/climatologia/evolucio>,» [En línia].
- [12] Jaume Avellaneda i Díaz-Grande Dr. Arquitecto, MEDIO AMBIENTE, COMPORTAMIENTO Y DURABILIDAD DEL CERRAMIENTO, 1983.
- [13] «<http://www.codigotecnico.org/index.php/menu-recursos/menu-aplicaciones/282-herramienta-unificada-lider-calener>,» [En línia].

- [14] Ministerio de Fomento Catálogo de Elementos Constructivos del CTE, « <http://itec.cat/cec/Pages/BusquedaSC.aspx>,» [En línia].
- [15] A. L. Pisello, F. Cotana i A. Nicolini, «Development of Clay Tile Coatings for Steep-Sloped Cool Roofs.,» *Energies*, núm. 6, pp. 3637-3653, 2013.
- [16] Generalitat de Catalunya, «[http://canviclimatic.gencat.cat/ca/politiques/politiques\\_catalanes/Avantprojecte\\_llei\\_cc/](http://canviclimatic.gencat.cat/ca/politiques/politiques_catalanes/Avantprojecte_llei_cc/),» [En línia].
- [17] H. Akbari, A. Rosenfeld i S. Menon, «Global cooling: increasing world-wide urban albedos to offset CO<sub>2</sub>,» *Climatic Change*, pp. 275-286, 2009.
- [18] Campa P, M. Garcia, i Y. Canton, «Surface temperature cooling trends and negative radiative forcing due to land use change toward greenhouse farming in southeastern Spain.,» *Journal of Geophysical Research*, vol. Volume 113, 2008.
- [19] CTE, «[file:///C:/Users/Usuario/Downloads/CAT-EC-v06.3\\_marzo\\_10.pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/CAT-EC-v06.3_marzo_10.pdf),» [En línia].
- [20] P. Bardou, *Arquitecturas de adobe*, Barcelona.: Ed. Gustavo Gili. , 1981.
- [21] «<http://coolroofs.org/products/results>,» [En línia].
- [22] «TRATADO DE CONSTRUCCION . FACHADAS Y CUBIERTAS 2.,» MUNILLALERIA,, 2007 ISBN 9788489150768.
- [23] Levinson R, H. Akbari, i J. Reilly , «Cooler tile-roofed buildings with near-infrared-reflective non-white Coatings.,» *Building and Environment*, vol. 42, p. 2591–2605, 2007.
- [24] Energy Star, «[https://www.energystar.gov/index.cfm?c=roof\\_prods.pr\\_roof\\_emissivity](https://www.energystar.gov/index.cfm?c=roof_prods.pr_roof_emissivity),» [En línia].



## CAPÍTOL 2. APROXIMACIÓ A LES COOL ROOF

*“Cool” roofing is the fastest growing sector of the roofing industry, thanks to increasing awareness of the benefits of cool roofs”. [1]*

Aquest capítol lliga els dos elements bàsics que trobem en el nostre entorn -les cobertes planes i els revestiments frescos- per aproximar-se a les cobertes fresques. Amb quina realitat ens trobem de solucions de cobertes planes i quins productes per transformar-se en cobertes fresques existeixen.

La recerca es la conjunció de dues premisses amb un objectiu. (Imatge 2.01). Les premisses són: per un costat les cobertes planes (tant les ja construïdes com les que es facin en el futur) i la possibilitat de transformar-les en cobertes fresques. L'objectiu d'aquest canvi en el revestiment de les cobertes és millorar el confort de l'usuari que habita just sota la coberta i reduir el consum energètic derivat de l'ús excessiu dels aparells de refrigeració. Seran aquests tres peus sobre els que cal que es suporti aquesta recerca.



**Imatge 2.01.**  
**Font:** OMR

Els dos següents punts versen sobre els dos eixos principals; les cobertes i els revestiments frescos existents. Caldrà solapar els coneixements d'ambdós punts per aconseguir transformar les cobertes actuals en cobertes fresques, que reportin estalvis en refrigeració i major confort als usuaris.

### 2.1. SOBRE LES COBERTES

Aquest punt no pretén ser un catàleg de tots els tipus de cobertes i com transforma-les en cobertes fresques (això es desenvolupa en el punt 7.1.4), si no l'anàlisi abstracte de com són la majoria d'aquestes, quin es el seu funcionament tèrmic i com els efecte la radiació solar.

Si ordenem la coberta plana com una successió de capes tenim: 1. suport o base estructural, 2. sistema de formació de pendants, 3. barrera de vapor, 4. Impermeabilitzant, 6. capes separadores o difusores, 7. capa de protecció o revestiment d'acabat. [2] Advertim que aquest estudi afecte únicament a la última capa, o sigui la més externa i amb contacte amb l'exterior.

Sovint aquesta última capa és només un llastre per evitar el moviment per succió de vent de les capes tècniques inferiors o per a protegir-les dels agents meteorològics. Aquesta premissa facilitarà poder transformar o substituir amb major llibertat aquesta capa, ja que majoritàriament no en depèn ni la impermeabilitat ni l'aïllament tèrmic de la coberta.

Entre les cobertes planes, trobem les que tenen un continu (ja sigui llis o rugós) i les que tenen un acabat amorf (generalment graves). Caldrà estudiar en quin cas és més adequat implementar una coberta fresca, i si existeixen productes al mercat que ens permetin fer aquesta transformació a una “coberta fresca”.

Cal dir també, que un dels requeriments bàsics de l'arquitecte (en quan es capaç d'incidir-hi directament) és el confort de l'usuari de l'edifici. Evidentment l'esclafament planetari no ens deixa indiferents però s'escapa sovint de l'exercici immediat de la nostra disciplina.

Ara bé, no es tracta únicament de pintar les cobertes de blanc, això ja està àmpliament provat que és una bona solució. Sinó d'aprofitar aquesta característica física com a instrument de projecte, proposant canvis en materials existents, per tal de millorar el comportament tèrmic de les cobertes en front la radiació solar.

Les modificacions en la naturalesa i la composició dels materials de revestiment “frescos” hauran de ser desenvolupades per professionals més competents en aquestes disciplines: físics o químics, a qui els tocarà millorar el pigment: durabilitat, netejabilitat, volatilitat... [3] [4] [5] Així com la capacitat d'incorporar aquest nous materials sobre els ja existents, ceràmica, xapes, membranes asfàltiques i polimèriques, fustes, pedra... [6] [7] [8] [9] Als arquitectes correspondrà incorporar aquests revestiments al dia a dia de l'arquitectura actual i futura

Així, més enllà els materials específics de revestiment per obtenir cobertes fresques, l'arquitecte també pot contemplar altres característiques, com ara:

- La geometria: de la coberta (vessants i pendent) i de la peça (plana, corbada...).
- El color i lluentor com a característica que pot provocar reflexions molestes i enlluernaments.
- Les cambres intermèdies ventilades.
- Les textures, la rugositat (entesa com el quocient entre l'àrea real i l'àrea aparent de la superfície d'un material. Factor que pot ajudar molt a la convecció superficial.)
- L'orientació cardinal de la coberta. La incidència variable del raig solar segons la latitud,



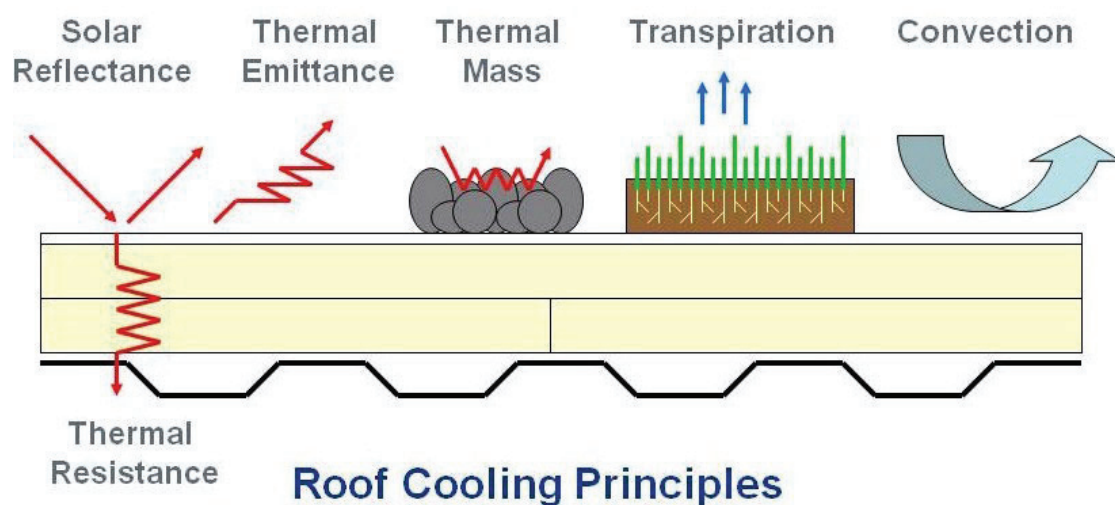
l'hora i l'època de l'any. La posició relativa de la coberta respecte el flux de radiació solar al llarg de l'any.

- Les ombres pròpies de la peça que forma el revestiment de la coberta. (Per exemple les teules àrabs, on la cobertora projecta una ombra sobre la teula canal)
- La durabilitat de la solució emprada: sempre tindrà més estabilitat i durabilitat una forma geomètrica que un revestiment aplicat en obra.
- Contemplar la possibilitat de emprar o no la inèrcia tèrmica com a reguladora del flux d'energia.

La gestió energètica de la relació de la pell de l'edifici amb l'entorn ve definida per multitud de variables. L'arquitecte cal que conegui, de forma general, quins recursos estan al seu abast per obtenir els resultats desitjats i esperats. Per tal que el projecte sigui exitós el projectista haurà de combinar coneixements tècnics, constructius, ambientals així com culturals i compositius. Com més acurats i precisos siguin més garanties d'èxit es podran esperar.

Aquest treball, es focalitza sobre l'asseïllament de la coberta i com aquesta gestiona l'energia solar incident. Evidentment, en casos de cobertes amb pendent, les possibilitats respecte la radiació solar poden ser molt àmplies. Ara bé quan, com en aquest cas d'estudi, les cobertes es limiten a les planes, les possibilitats geomètriques es limiten a la dels materials de revestiment.

Els principis científics d'intercanvi energètic entre la coberta (podríem parlar de qualsevol tanca-ment) i l'aire que l'envolta són (Imatge 2.02) [10]:



**Imatge 2.02.**

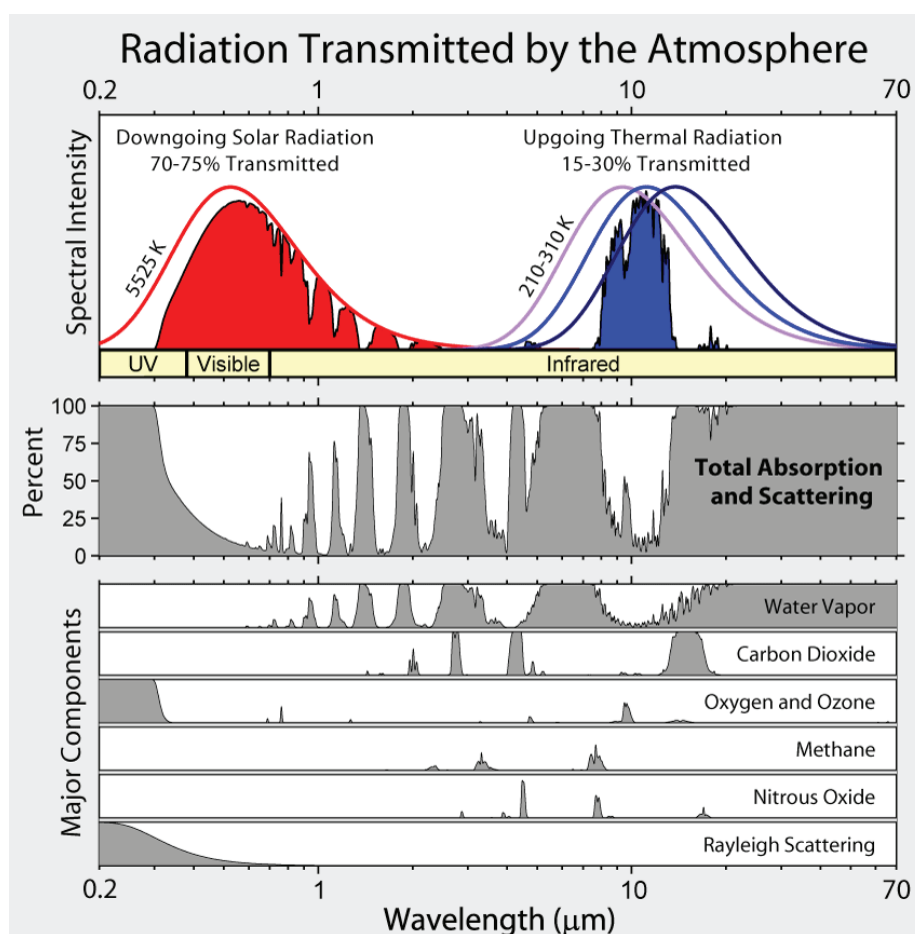
**Font:** Center for Environmental Innovation in Roofing. <http://roofknowledge.org/main/energyefficientroofs/coolroofs/whatisacoolroof>

Descrites de esquerra a dreta:

**Reflexió solar:** Les cobertes amb alt índex de reflexió (alt albedo) són aquelles capaces de reflexar la radiació solar de nou cap a l'atmosfera, impedit que s'escalfi, l'ambient que rodeja l'edifici. La reflexió es mesura de 0 a 1, essent 0 el grau més baix (absorbeix el 100% de la radiació) i 1 el més alt (tota la radiació es reflectida). Cal recordar que la radiació es divideix entre UV, visual i infraroig (essent aquest últim el que major energia aporta quan s'absorbeix per la superfície incident). La superfície de revestiment es mantindrà més fresca com major proporció aconseguixi reflectir.

Analitzem-les una a una:

**Emissivitat tèrmica:** Part de la radiació absorbida, és re-emesa a l'ambient en forma de calor. La facilitat per desprendre's d'aquesta energia per re-emissió és el que s'anomena emissivitat. També es mesura de forma relativa amb valors entre 0 i 1, essent 1 el valor per el qual el material té més facilitat per emetre calor. La longitud d'ona amb que es re-emet la calor es també important, ja que segons quines longituds d'ona tenen més facilitat per travessar de nou l'atmosfera i evitar així l'efecte hivernacle. (Imatge 2.03).



Imatge 2.03.

Font: <http://objectivistindividualist.blogspot.com.es/2011/01/blackbody-radiation-and-consensus.html>

Resistència tèrmica: part de la radiació absorbida, tendeix a propagar-se per conducció cap a l'espai inferior. Els materials aïllants dificulten el pas de l'energia calorífica, tan en el sentit ascendent com descendent.

Massa tèrmica (inèrcia tèrmica). Un element constructiu de coberta que presenti una elevada massa tèrmica (massa absoluta • calor específic) Estratègia complementària amb les dues anteriors. El material amb inèrcia permet un desfase entre l'hora de màxima radiació incident i l'hora en que comença a emetre calor cap a l'interior.

Evaporació (transpiration): Característic de les cobertes enjardinades, com a part del procés de fotosíntesis produït per les plantes incorporades, i també de les cobertes inundades. L'efecte d'evaporació redueix la temperatura de les superfícies de la coberta, sempre i quan es mantinguin humides, cosa que les obliga a incorporar aigua constantment.

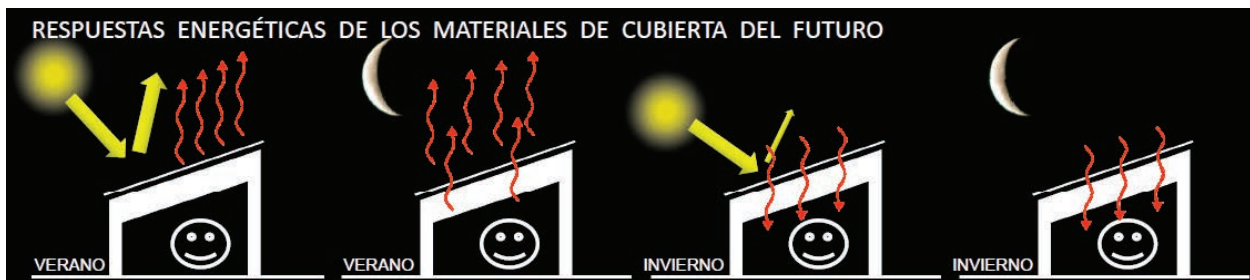
Convecció: El moviment de l'aire (vent) afavorirà l'intercanvi de calor entre el sostre i l'ambient que l'envolta. Aquest efecte pot ser complementari a les cobertes fresques, però no té per que sempre afavorir l'evacuació de calor de l'edifici, ja que durant la nit la temperatura del sostre pot arribar a ser més baixa que la de l'ambient, cosa que dificultaria l'evacuació de calor. O sigui la convecció ens podria "escalfar" la coberta [11]. Aquelles geometries de revestiment de coberta amb un major coeficient de forma tindran més facilitat per produir aquest mecanisme d'intercanvi d'energia entre el revestiment i l'aire exterior proper.

Caldrà doncs seguir un o alguns d'aquests principis per tal de mantenir una coberta fresca. Segur que la coberta ideal, molt probablement no es basarà únicament en un d'aquests principis i n'haurà de combinar més d'un.

Per altre costat també hem de tenir present la possibilitat d'evacuar calor durant la nit a base de ventilar els espais interior –ja sigui mitjançant obertures en façana o en coberta- o radiar a l'atmosfera cap al negre cel nocturn.

I per últim considerar la cultura constructiva d'aquell lloc on es realitzarà la construcció: materials, tècniques, tecnologia...

Resumint, el tècnic haurà d'idear una coberta que tingui un comportament equilibrat al llarg de tot l'any (hivern i estiu), que funcioni adequadament durant les 24 hores del dia (imatge 2.04) i això combinat el tipus de construcció que estem acostumats en el nostre entorn i la nostra climatologia. Òbviament, també haurà d'adaptar-se a totes aquelles directrius estètiques i cromàtiques de les normatives i ordenances del municipi on es construeixi.

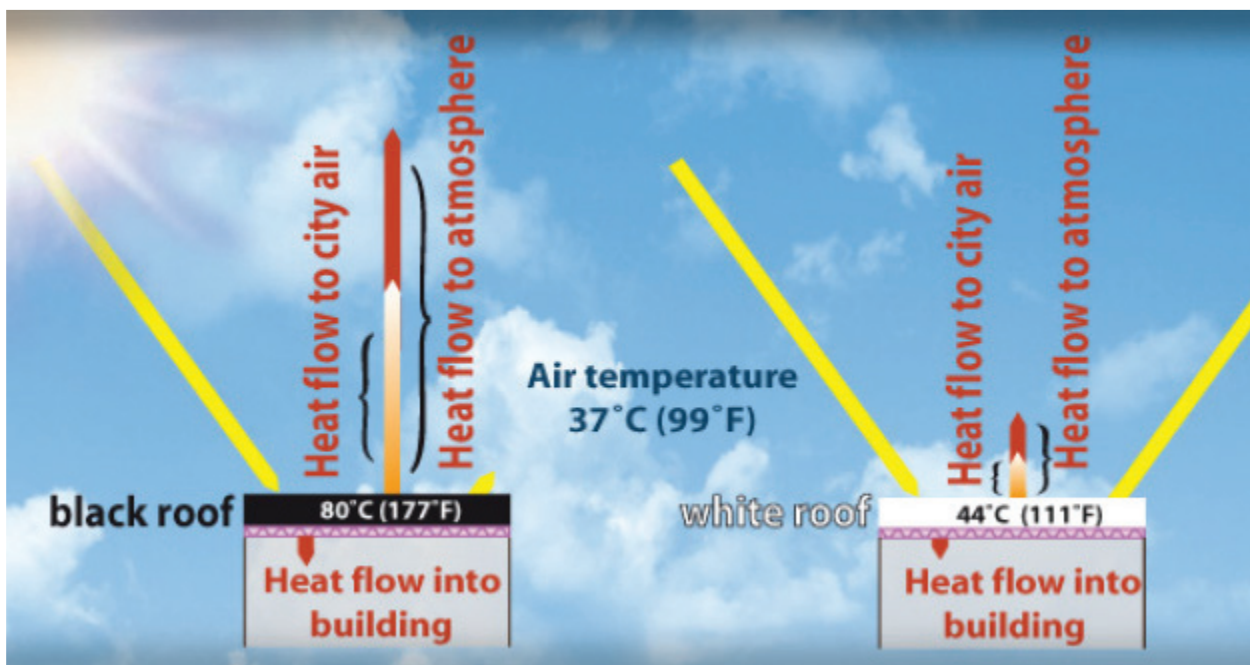


Imatge 2.04.

Font: OMR

Mantenir la superfície d'un coberta fresca, a més a més, pot tenir uns efectes col·laterals beneficiosos per la durabilitat del sistema. Els materials de revestiment, dilaten amb l'augment de temperatura i es contrauen quan es refreden (stress tèrmic). Si aconseguim oscil·lacions de temperatura reduïts, disminuïrem els moviments dels materials. Això podria suposar:

- Menys junts elàstics de dilatació, ja que els podrem espaiar més.
- Més bona adherència entre les peces i el substrat que les suporta.
- Menys lesions per adherència entre capes sobreposades i moviments diferenciats. (imatge 2.05).



Imatge 2.05. L'absorció de la radiació augmenta la temperatura i els moviments tèrmics.

Font: <http://heatisland.lbl.gov/>

El CTE contempla junts de dilatació, tan en la capa de pendents com en l'última capa. Si els moviments tèrmics fossin menors (o sigui, que aconseguíssim disminuir els canvis de temperatura en la coberta) aquests junts es podrien distanciar. Prova d'això es que el mateix codi, en cas de cobertes ventilades (entenent que aquestes es mantindran menys calentes) ja proposa que els junts puguin estar més separats.

En el cas que tractem, ens centrarem en els canvis de temperatura del material de revestiment de la coberta produïts per l'absorció de radiació. Per tal de definir quines pendents i orientacions són les que més radiació solar reben al llarg de l'any, s'ha realitzat la taula següent (imatge 2.07), elaborada per l'àrea de Barcelona, especificant el total de radiació sobre el pla de la vessant. En les abscisses hi ha els graus respecte el sud (azimut). En les ordenades, la pendent respecte a la horitzontal.

		orientació: azimut						
		-90º	-60º	-30º	0º	30º	60º	90º
pendent de la coberta	0º	5489.60	5489.60	5489.60	5489.60	5489.60	5489.60	5489.60
	5º	5493.25	5613.70	5701.30	5734.15	5701.30	5613.70	5493.25
	10º	5475.00	5715.90	5883.80	5945.85	5883.80	5715.90	5475.00
	15º	5442.15	5796.20	6040.75	6124.70	6040.75	5796.20	5442.15
	20º	5394.70	5847.30	6161.20	6267.05	6161.20	5847.30	5394.70
	25º	5332.65	5876.50	6245.15	6372.90	6245.15	5876.50	5332.65
	30º	5252.35	5876.50	6296.25	6442.25	6296.25	5876.50	5252.35
	35º	5164.75	5854.60	6314.50	6471.45	6314.50	5854.60	5164.75
	40º	5058.90	5807.15	6296.25	6464.15	6296.25	5807.15	5058.90
	45º	4945.75	5730.50	6237.85	6416.70	6237.85	5730.50	4945.75
	50º	4818.00	5631.95	6146.60	6325.45	6146.60	5631.95	4818.00
	55º	4679.30	5511.50	6029.80	6197.70	6029.80	5511.50	4679.30
	60º	4536.95	5361.85	5876.50	6033.45	5876.50	5361.85	4536.95
	65º	4376.35	5183.00	5690.35	5840.00	5690.35	5183.00	4376.35
	70º	4212.10	5000.50	5475.00	5613.70	5475.00	5000.50	4212.10
	75º	4040.55	4799.75	5234.10	5354.55	5234.10	4799.75	4040.55
	80º	3850.75	4569.80	4967.65	5062.55	4967.65	4569.80	3850.75
	85º	3675.55	4336.20	4679.30	4745.00	4679.30	4336.20	3675.55
	90º	3493.05	4091.65	4372.70	4409.20	4372.70	4091.65	3493.05

**Imatge 2.07.** Radiació solar global sobre superfícies amb inclinació entre 0 i 90 ° i azimut entre -90/0/90 (MJ/m<sup>2</sup>). Estació: Barcelona. Font: <http://heatiland.lbl.gov/>

**Font:** Atlas de Radiació Solar a Catalunya. Generalitat de Catalunya Departament d'Indústria Comerç i Turisme Institut Català d'Energia. Taula: realització taula, OMR

En aquesta, es detecta que amb azimuts entre 30º i -30º i amb pendents de coberta de 0º a 40º són les posicions que reben més radiació solar al llarg de tot l'any, o sigui que mes susceptibles de patir moviments tèrmics.

Aquesta mateixa taula es podria fer per cada localitat on es volgués implementar les cobertes fresques a partir de les dades que es poden trobar a l'Atlas de radiació solar de Catalunya [12].

Tot aquest seguit de condicionants s'hauran de combinar amb els materials que ja existeixen actual-




ment al mercat. El següent punt hi ha una relació de materials els quals ja es diferencien, justament per la seva alta capacitat de reflectir.

## 2.2. MATERIALS FRESCOS EXISTENTS AL MERCAT

### 2.2.1. QUALIFICACIÓ

Quan es planteja la solució de coberta fresca, cal definir i garantir les característiques del material d'acabat de coberta que ho ha de fer possible, tan el primer dia de ser col·locat a la construcció com al cap dels anys.

A l'actualitat hi ha productes pràcticament per a totes les solucions de cobertes. Als EEUU, els materials “cool roof” han d'haver obtingut el segell (imatge 2.08) que proporciona el CRRC (Cool Roof Rating Council). El document PRODUCT RATING PROGRAM CRRC-1 [13] defineix la metodologia i les normes ASTM que cal seguir per obtenir el segell de material fresc per a cobertes. Actualment en el directori de materials classificats n'hi ha ja 2605. [14]

			
	<b>Solar Reflectance</b>	<b><u>Initial</u></b> <b>0.75</b>	<b><u>Weathered</u></b> <b>0.62</b>
	<b>Thermal Emittance</b>	<b>0.88</b>	<b>0.92</b>
Rated Product ID		<b>0850-0006</b>	
Licensed Manufacturer ID		<b>0850</b>	
Classification		Production Line	
Cool Roof Rating Council ratings are determined for a fixed set of conditions, and may not be appropriate for determining seasonal energy performance. The actual effect of solar reflectance and thermal emittance on building performance may vary.			
Manufacturer of product stipulates that these ratings were determined in accordance with the applicable Cool Roof Rating Council procedures.			

**Imatge 2.08:** Exemple de Segell d'acreditació lliurat per el CRRC  
**Font:** Malarkey Roofing Products. Bright White Reflective Cap Sheet

En l'article Dessing Brief. Cool Roof [15] hi ha un inventari molt detallat dels productes usuals per impermeabilitzar tan en cobertes planes com inclinades (pàgines 13 a 17), així com els seus valors de reflexió i emissivitat. També especifica les transformacions que els hi cal fer als productes comercials convencionals per esdevenir frescos. El mateix text compara els diferents productes entre ells i justifica la seva eficiència en cobertes fresques i l'aplicabilitat de cada un d'ells. A més a més, enu-

mera un parell de casos d'èxit (un d'obra nova i un de renovació de coberta) on s'han implementat cobertes fresques. De cada cas especifica els estalvis econòmics i energètics

Evidentment l'àmbit territorial que emmarca l'article és els EEUU.



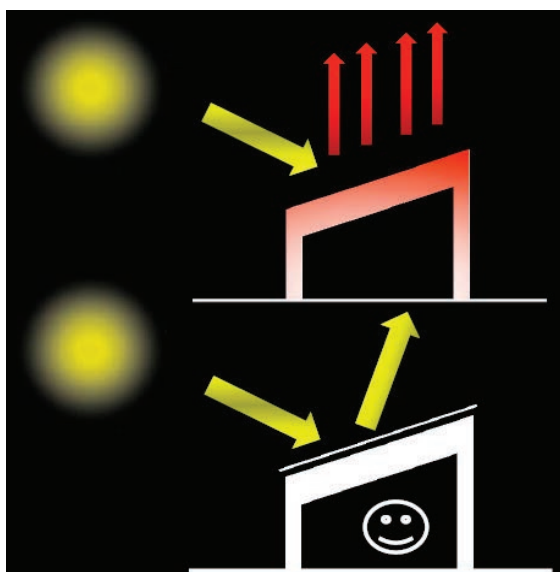
**Imatge 2.09.** Aplicacions: (esquerra) amb pintura sobre coberta existent o (dreta) membrana.

**Font:** Design Brief Cool Roofs.

Tots els materials d'impermeabilització convencionals enumerats en aquest article també estan disponibles al mercat Català (però sense la versió fresca). Per tant, segurament, acabaran essent una opció disponible per als tècnics d'aquí en un futur proper.

### 2.2.2. MATERIALS A L'ÀMBIT NACIONAL

Algunes empreses, en l'àmbit nacional, conscients del potencial de les cobertes fresques han començat a oferir al mercat productes, la principal característica dels quals és la elevada reflexió de la radiació solar.



**Imatge 2.10.** Abans i després d'haver implantat un material fresc.

**Font:** Design Brief Cool Roofs.

Algunes d'aquestes s'anuncien a continuació, agrupades per el producte d'acabat:

Membranes:

**RENOLIT ALKORBRIGHT:** "RENOLIT ha desarrollado las membranas de impermeabilización RENOLIT ALKORBRIGHT, en primer lugar por la preocupación de responder a una necesidad de economía en energía, y en segundo término a la preocupación sobre el respeto ecológico."

<http://www.alkorproof.com/sp/products/bright/index.php>



**SARNAFI L S327-15L WHITE DE SIKA** es una membrana para impermeabilizar cubiertas formulado para la exposición directa a la intemperie y se produce con un refuerzo de tela de poliéster de alta resistencia. Sarnafi l S327-15L White es una membrana utilizada con el sistema de fijación mecánica. La membrana «Sarnafi l S327-15L» EnergySmart Blanca cumple los requisitos ENERGY STAR y los criterios para certificación LEED, para aplicaciones en cubiertas de baja y en fuerte pendiente.

[http://col.sika.com/dms/getdocument.get/48b6cf3d-6657-3a99-b943-85814fea9995/co-ht\\_Sarnafil%2520S327%252015L%2520White.pdf](http://col.sika.com/dms/getdocument.get/48b6cf3d-6657-3a99-b943-85814fea9995/co-ht_Sarnafil%2520S327%252015L%2520White.pdf)

Pintures:

**REVSUN TEC PLUS:** “Revestimiento elástico e impermeable para tratamiento de cubiertas que facilita la reflexión de la luz solar y disminuye la transmisión de calor en el interior del edificio.”

<http://www.reveton.com/productos/show/revsun-tec-plus>

**TECMA PAINT TERMIC FARENHEIT 10.8-** “...su fórmula incorpora cristales esféricos huecos del mismo tipo que utiliza la NASA para crear escudos aislantes, protegiendo así los trasbordadores espaciales de elevadas temperaturas que se desarrollan por fricción a su entrada a la atmósfera. Estos gránulos reflejan, disipan y reflejan las ondas de calor.

<http://www.satecma.es/satecma/productos/4198.htm>

**SIKA SOLARROOF MTC** - Sistemas Sika para revestimientos resistentes a los rayos UV. Permite aumentar la esperanza de vida de cubiertas viejas, proporciona reflectancia a los revestimientos para aumentar la eficiencia energética y asegura una impermeabilización de altas prestaciones tanto en obra nueva como en rehabilitación. COLOR: Blanco.

<http://esp.sika.com/es/roofing-redirect/sika-roofing-solutions/02a011/02a011sa07/02a011sa07300/02a011sa07302.html>

**ICOPAL, COOL PAINT:** Pintura acrílica a base de agua para aplicación sobre la nueva o antigua impermeabilización bituminosa para obtener una superficie con alta reflectancia solar.

<http://www.siplast-international.com/Cool+Paint/249>

**SELENA:** Cool-R es un revestimiento impermeabilizante continuo altamente reflectante de color blanco para cubiertas nuevas y de rehabilitación. Puede utilizarse en cubiertas planas e inclinadas.

<http://cool-r.es/>

Lloses de formigó porós:

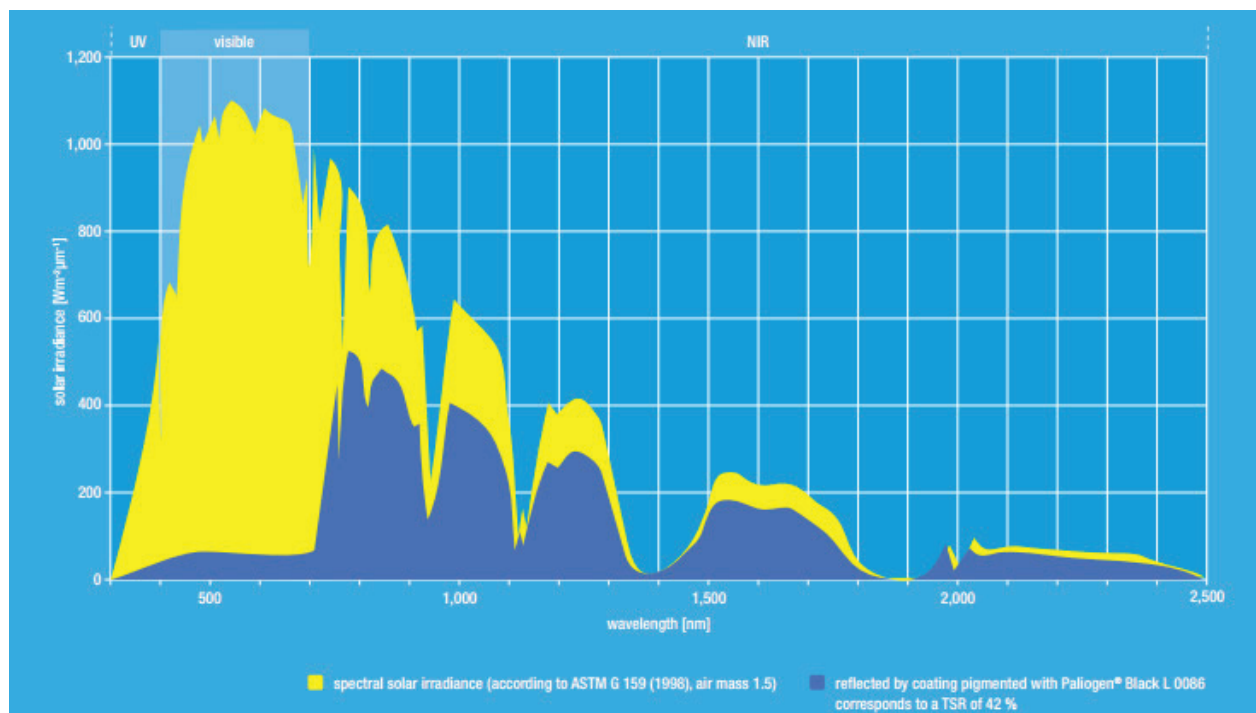
**TEXSA: TEXLOSA** es una baldosa aislante compuesta por una base de espuma de poliestireno extruido con estructura de célula cerrada, autoprotégida en su cara superior con una capa de mortero de 35 mm de espesor, compuesta por áridos seleccionados y aditivos especiales, con acabado rugoso rústico en color blanco o gris.

[http://www.texsa.com/es/docs/ES\\_Texlosa.pdf](http://www.texsa.com/es/docs/ES_Texlosa.pdf)

Pigments:

**BASF SICOPAL® BLACK K 0095.** Pigment que no absorbeix la radiació infraroig propera. (imatge 2.11)

<https://www.dispersions-pigments.basf.com/portal/streamer?fid=560474>



**Imatge 2.11.** Comparatiu entre pigment convencional i pigment fred.

**Font:** Design Brief Cool Roofs.

D'aquest capítol es pot deduir que bona part de l'acabat de cobertes planes son materials ceràmics (material amb gran tradició a Barcelona i Catalunya). La ceràmica pot ser una bona base per a rebre la majoria dels materials frescos existents a Catalunya, i més enllà d'això existeixen industrials amb gran coneixement del material i amb inquietuds per a generar noves peces per tal de millorar el seu producte.

Un dels propòsits d'aquesta recerca ha estat promoure, juntament amb cases de ceràmica, noves peces per a coberta que es mantinguin més fresques que la ceràmica natural. A aquest efecte es pren la ceràmica com a material de referència, sobre el qual comparar les millores que es puguin produir en el mateix material transformat o bé a d'altres materials. (Veure més informació en el capítol 4).

## REFERÈNCIES:

- [1] [En línia]. Available: <http://coolroofs.org/documents/CoolRoofsforArchitectsandRoofingSpecifiers.pdf> .
- [2] J. Fernández Madrid, «Cubiertas planas I,» Tectónica núm. 6.
- [3] H. Akbari, R. Levinson i W. Miller, «Special Infrared Reflective Pigments Make a Dark Roof Reflect Almost Like a White Roof,» de Performance of Exterior Envelopes of Whole Buildings IX International Conference, ASHRAE., December, 2004.
- [4] A. Muscio, C. Siligardi i A. Libbra, «Assessment and improvement of the performance of antisolar surfaces and Coatings.,» Progress in Organic Coatings, núm. 72, pp. 73-80, 2011.
- [5] A. Pisello, F. Cotana, i L. Brinchi. , «On a cool coating for roof clay tiles: development of the prototype and thermal-energy assessment.,» Energy Procedia, núm. 45, p. 453 – 462, 2014.
- [6] H. Akbari, J. Reilly i R. Levinson, «Cooler tile-roofed buildings with near-infrared-reflective non-white Coatings.,» Building and Environment, núm. 42, pp. 2591-2605, 2007.
- [7] A. L. Pisello, F. Cotana i A. Nicolini, «Development of Clay Tile Coatings for Steep-Sloped Cool Roofs.,» Energies, núm. 6, pp. 3637-3653, 2013.
- [8] «ECCA Prepaintedmetal.eu Metal Roofing for Comfortable, Energy-Efficient Housing.,» Thecnical paper , December 2009.
- [9] M. Zinzi, G. Fasano i E. Manilia., «Properties and performance of an innovative reflective painting to reduce the cooling loads in buildings and mitigate the heat island effect in urban areas,» de 2nd PALENC September 2007, . 2nd PALENC September 2007.
- [10] [En línia]. Available: <http://roofingcenter.org/> .
- [11] A. Gentle, K. Dybdal i G. Smith, «Polymeric Mesh For Durable Infra-red Transparent Convection Shields: Applications In Cool Roofs And Sky Cooling.,» Solar Energy Materials & Solar Cells , vol. 2013, núm. 115, pp. 79-85.
- [12] Departament d'Indústria Comerç i Turisme Institut Català d'Energia, «ATLAS DE RADIACIÓ SOLAR A CATALUNYA. EDICIÓ 2001. GENERALITAT DE CATALUNYA,» [En línia]. Available: [http://icaen.gencat.cat/web/.content/migracio\\_automatica/documents/activitats\\_i\\_dades\\_energetiques/arxiu/monografic12.pdf](http://icaen.gencat.cat/web/.content/migracio_automatica/documents/activitats_i_dades_energetiques/arxiu/monografic12.pdf) .

[13] Cool Roof Rating Council., « The CRRC Product Rating Program has been developed under the direction of the Cool Roof Rating Council.,» [En línia]. Available: [http://coolroofs.org/documents/CRRC-1\\_Program\\_Manual\\_-\\_2015-06-19\\_Final.pdf](http://coolroofs.org/documents/CRRC-1_Program_Manual_-_2015-06-19_Final.pdf).

[14] [En línia]. Available: <http://coolroofs.org/products/results/P2600> .

[15] [En línia]. Available: <http://energydesignresources.com/resources/publications/design-briefs/design-brief-cool-roofs.aspx> .







### CAPÍTOL 3. EXPERIMENTAL. TREBALL DE CAMP



Durant l'estiu del 2010, es va portar a terme una campanya de recollida de temperatures superficials de diferents materials, els quals, eren acabats de cobertes.

La finalitat de l'estudi previ era prendre consciència de la temperatura que assoleixen els materials de revestiment més habituals en el nostre entorn disposats com a última capa de les cobertes. No pretenia ser un exercici molt rigorós, però va servir per donar pes i validar la proposta de les cobertes fresques. A més a més de provar que la radiació solar no és l'únic factor que incideix sobre la temperatura superficial d'aquests materials, i que la pols, la brutícia, l'aigua o el vent... els poden degradar i modificar molt el seu comportament vers la radiació.

Aquest treball de camp diferencia els materials mesurats segons la seva naturalesa: minerals, metàl·lics i orgànics. Per a mesurar les temperatures superficials de coberta es va utilitzar el termòmetre d'infrarojos de la marca TESTO mod 810. Les característiques del qual es descriuen a la imatge 3.01 adjunta.



testo 810 - Termómetro por infrarrojos:

Con el termómetro por infrarrojos testo 810 medirá al mismo tiempo la temperatura ambiente y la temperatura de superficie de un objeto, y todo ello sin contacto. El instrumento de medición de la temperatura por infrarrojos le muestra la diferencia (entre temperatura superficial y del aire) de temperatura de forma automática.

Características del producto:

- Medir al mismo tiempo la temperatura de superficies y la temperatura ambiente
- Medición de la temperatura de superficies sin contacto (termómetro por infrarrojos)
- Visualización de la diferencia de temperatura
- Emisividad configurable\*












(\*cal definir-la per a cada material)

Imatge 3.01.

Font: [http://www.testo.es/detalles\\_producto/0560+0810/testo-810-Termometro-por-infrarrojos](http://www.testo.es/detalles_producto/0560+0810/testo-810-Termometro-por-infrarrojos)

El treball es va focalitzar en els materials de revestiment de cobertes planes, però també es van recollir dades de cobertes inclinades acabades amb teula ceràmica o xapa metàl·lica.

El resultat es va ordenar en una taula següent (taula 3.01) on s'indica, el tipus de material, la temperatura ambient, la temperatura superficial, la diferència entre la temperatura superficial i ambient, i una imatge del material. Veure la taula següent.

Material	T <sup>a</sup> Ambient (°C)	T <sup>a</sup> Sup. (°C)	Dif. (°C) T <sup>a</sup> <sub>sup</sub> -T <sup>a</sup> <sub>amb</sub>	Imatge	
Rasilla ceràmica	29.9	47.5	17.6		Mineral
Arrebossat blanc	30.6	41.1	10.5		
Pedra artificial	31.6	37.2	5.6		
Pedra natural arenisca	31.3	42.5	11.2		
Rassilla pintada amb cautxú líquid vermella	28.3	35.8	7.5		
	30.9	30.6	-0.3		
Xapa galvanitzada	28.3	34.1	5.8		Metal·lic
Xapa lacada (color verd)	30.0	35.3	5.3		
Xapa lacada (color marró)	29.4	43.0	13.6		
Fusta Zona clara	31.4	42.6	11.2		Orgànic
Fusta Zona fosca	32.2	45.4	13.2		

**Taula:** 3.01.  
**Font:** OMR

L'objectiu era identificar si hi havien determinats acabats que es mantinguessin més frescos que altres després d'haver estat sotmesos a tot un dia de sol i calor. A aquest efecte es van prendre les temperatures entre les 16,00 i les 18,00 del dia 25/08/2010. L'estudi es va realitzar en una població costanera de l'Alt Empordà.

En la taula (taula 3.01) hi ha una mostra de materials que van ser mesurats. No tots són exclusivament de cobertes. Interessava no descartar d'entrada cap de les característiques físiques dels materials: rugositat, textura, color, naturalesa, massa...

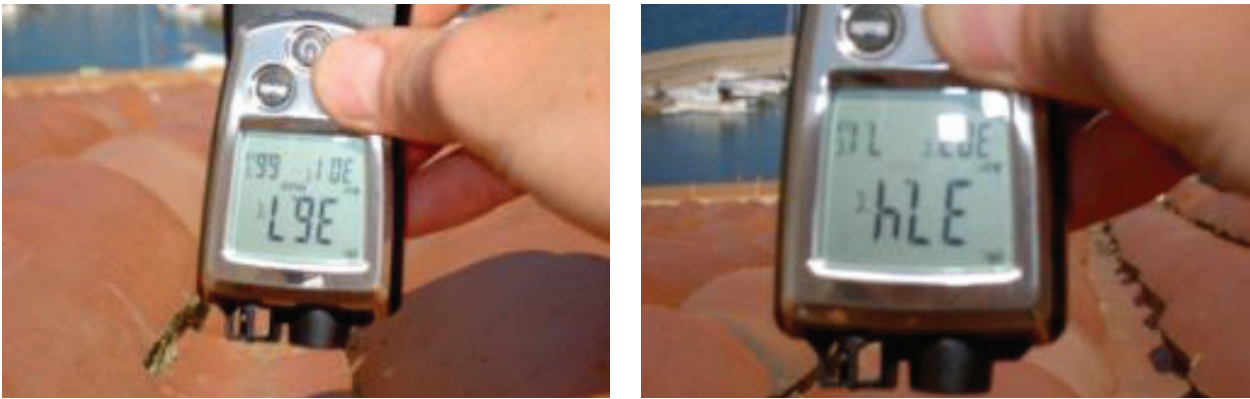
Observacions:

- Els materials d'origen mineral, degut a la seva massa, mantenen la calor durant molt més temps que les xapes metàl·liques. Aquestes últimes en el moment que deixen de rebre radiació solar directa la temperatura superficial baixa ràpidament.
- En el grup dels minerals, la pedra artificial, en aquest cas de color blanc i amb petits porus entre l'aglomerant, s'ha després de la calor molt més ràpidament que altres materials, com la ceràmica ("rasilla") o la pedra natural.
- Curiosament la fusta es manté tan o més calenta que els materials d'origen mineral.
- Hi ha dos cassos extrems: Entre els metàl·lics, la xapa marró, està especialment calenta, degut a ser un color fosc. I entre els minerals, un banc de mobiliari urbà, fet de formigó en massa, de color clar i especialment polit, tot i haver estat sotmès a la radiació solar, la seva temperatura és lleugerament inferior a la temperatura ambient.

També es van prendre mesures sobre una coberta de teula àrab. L'objectiu era comprovar que passa quan els productes de revestiment emprats en les cobertes no son estrictament plans. Es tenia el pressentiment que materials amb una superfície complexa (como ara les teules o les graves) produeixen, exposats al sol, ombres pròpies (unes parts fan ombra sobre les veïnes i aquestes ja no reben directament la radiació solar).

A més a més, també es tenia el pressentiment que, si l'ajust entre les peces no és perfecte es generen cambres d'aire que dificulten l'avanç del calor cap a l'interior de l'edifici. En aquest sentit es van mesurar punts de careners i aiguafons de cobertes de teules. Tal i com es veu a les imatges inferiors, la temperatura en un punt o en l'altre és lleugerament diferent (Temperatura carener: 37,4°C i temperatura canal 36,7°C).





**Imatge 3.02.** Temperatures diferents del carener i la canal d'una coberta de teula àrab.

**Font:** OMR

Hom també constata que les cobertes, per la seva condició horitzontal, propicien l'acumulació de partícules de brutícia ambiental, i allò que originàriament era ataronjat, ara és més aviat marró. Aquella fusta clara s'ha anat enfosquint degut a l'exposició als raigs ultraviolats. O que una xapa verd clar, ara és verd fosc.

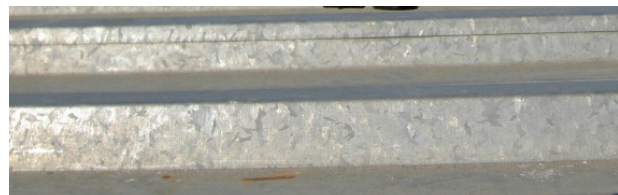
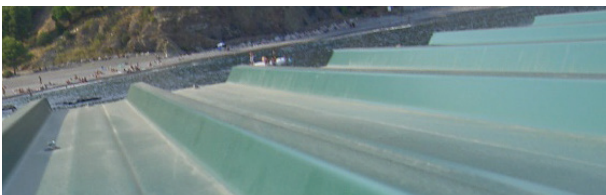
Cal tenir present doncs, que si la intenció es treballar aprofitant la reflexió, característica que atorga la superfície externa de l'última capa, i que aquesta ha de ser l'estratègia per evitar l'escalfament en la superfície, tenim uns adversaris implacables, l'envelliment i la brutícia que s'acumula. Ens podem trobar que un material el qual a priori té un comportament òptim, al llarg de temps passi a ser un material ordinari o clarament ineficient fruit de l'enfosquiment o de l'acumulació de pols en la seva superfície.



Fusta



Ceràmica



Xapa metàl·lica: notar que les cares verticals no tenen el mateix to de color que les horitzontals.

**Imatge 3.03.** Temperatures diferents del carener i la canal d'una coberta de teula àrab.

**Font:** OMR

D'aquest senzill treball, en podem extreure varies idees, que posteriorment ajudarien a definir els experiments que es durien a terme:

1. Qualsevol material, sigui de la naturalesa que sigui, sotmès a la radiació directa del sol, assoleix temperatures considerablement majors que les de l'aire, i serà aquesta temperatura la que finalment ens transmet calor a l'interior de l'edifici.
2. El color i la massa són determinants. Com més clar menys s'escalfa.
3. El substrat sobre el que està el material, pot ajudar a dissipar la calor?
4. La geometria i les ombres pròpies poden facilitar la dissipació de calor.
5. Qualsevol material a la intempèrie té un envelliment que fan modificar les seves característiques inicials de forma substancial. No sempre tenen per a que empitjorar en front la absorció de la radiació solar.





## CAPÍTOL 4. CAMPANYA DE PRESA DE DADES SOBRE CEL·LES PAUS ESTADI 1

### 4.1. METODOLOGIA I PROGRAMACIÓ

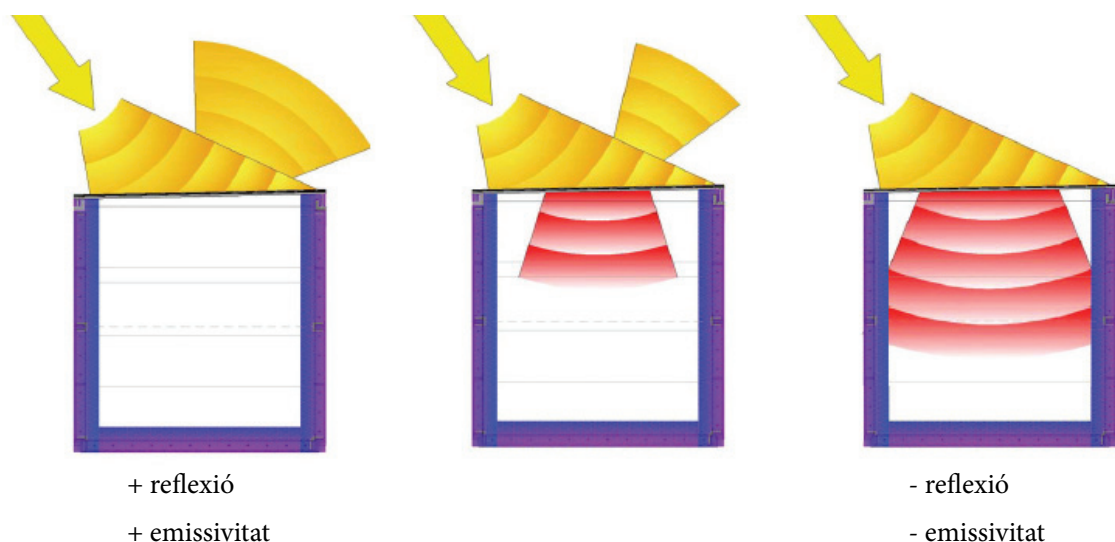
Fins aquest punt, a nivell documental, s'han constatat la bondat i virtuts que tenen les cobertes fresques, així com les característiques dels materials que existeixen al mercat. Ara, es vol provar com funcionen en una latitud i clima com el nostre i determinar en quina proporció són uns millors que les altres.

A més a més, es planteja una campanya de llarga durada, per tal d'identificar com evolucionen o quin comportament tenen al llarg de totes les estacions de l'any.

Experimentar si una solució de coberta freda molt eficient el primer any pot envellir prematurament i derivar en una solució ordinària. En canvi una solució ordinària, podria mantenir les seves característiques com a cool roof inalterables al llarg del temps.

Els materials seleccionats per aquesta campanya experimental són els que habitualment s'usen per al revestiment de cobertes planes a l'àrea de Barcelona. A partir de les temperatures obtingudes al llarg de la campanya, i treballant comparativament entre uns i altres materials, es mesura la incidència de la reflexió i l'emissivitat en el comportament tèrmic (veure figura 5.01) de les cobertes i dels locals situats just sota d'ells.

A més a més, les temperatures mesurades en les diferents mostres, s'han creuat amb les dades de l'estació meteorològica més propera, així s'han identificat quines variables del clima són més influents en el comportament tèrmic de les cobertes.



**Imatge 4.01.** Esquema de radiació de calor de la coberta segons el grau de reflexió del material que la revesteix.  
**Font:** OMR

## PROGRAMACIÓ

L'objectiu del treball ha estat estudiar el comportament real d'alguns materials de revestiment de coberta plana des del punt de vista del seu impacte tèrmic en els locals habitables situats inferiorment. Aquest impacte no és constant i per tant ha calgut cicles llargs d'amidaments per tal de copsar els cicles de:

- Dia- nit
- Estiu- hivern
- Envelliment i degradació progressiva del revestiment.
- Dipòsit de brutícia, pols o aigua de pluja que s'hi precipita

Originàriament la campanya de presa de dades es va plantejar en tres etapes:

1. Campanya experimental i de calibració
2. Campanya de modificació de superfícies.
3. Verificació en una obra real

El desenvolupament de cada una de les etapes queda descrit en els següents paràgrafs:

1. Campanya 1 experimental de calibració

Per tal d'avaluar l'impacte tèrmic de les peces de revestits de coberta, es va concloure que era necessari poder recollir les temperatures superficials (de la cara oposada a la radiació solar i de la inferior) i de l'espai situat just sota “la coberta”. El cub en el que es pensa, de forma ideal, hauria de permetre dipositar en la cara superior el material a analitzar i les altres 5 cares que fossin tancaments adiabàtics, de forma que l'única variable que modifiqués la temperatura interior fos la cara exposada, o sigui, la coberta. A la realitat aquest cub seria molt difícil d'aconseguir. Per altre banda, com més proper a un edifici real fos aquest cub, més versemblant serien els resultats obtinguts. Finalment s'adaptaran les cel·les PAUS<sup>1</sup>, descrites en el punt 4.2 del present capítol, cedides per la Plataforma per a Arquitectura i la Sostenibilitat.

Aquesta etapa comprèn totes les tasques de construcció de les cel·les, col·locació de sondes, recollida de dades, realització i anàlisi de gràfiques i edició de comparatives.

Les comparatives realitzades amb els materials de cada cel·la i/o amb les dades de clima han estat:

- Entre les dades de temperatura obtingues en cada punt on es mesura i cada un dels materials.

---

1.PAUS: Acrònim de Plataforma per l'Arquitectura U –signe de matemàtica de conjunts amb significat d'unió- i Sostenibilitat.

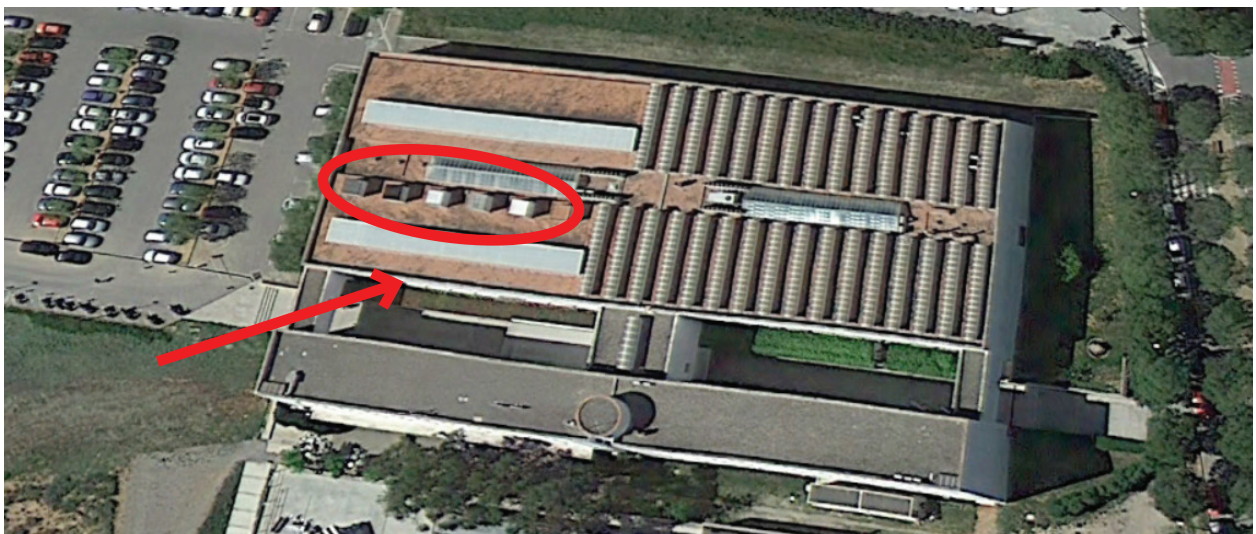
- Entre el material de referència (ceràmica) i el millorat. Les millores han estat cromàtiques (etapa 1) i geomètriques (etapa 2)
- I cada un dels materials en la seva evolució al llarg del temps. Aquestes últimes han servit per copsar com afecten tots els agents atmosfèrics, contaminació, pols... sobre el rendiment del material des de el punt de vista cool roof.

La durada d'aquesta etapa ha estat de més de tres anys, temps necessari per avaluar l'evolució del comportament del material exposat a l'envelliment

Com que el mètode d'avaluació de les peces es indirecte, es pretén avaluar l'eficiència de les mostres mesurant la temperatura a l'espai interior dels cubs, la campanya requeria d'unes cel·les a escala gairebé real, estances que bé podrien representar unes habitacions. Ara bé, calia disposar d'un lloc on situar-les, i d'una estació meteorològica propera que proporcionés les dades climàtiques de contrast.

Finalment es va optar per utilitzar unes cel·les de fusta (cel·les PAUS, veure 4.2), ja emprades en altres campanyes realitzades a l'ETSAV (Escola Tècnica d'Arquitectura del Vallès), i es van col·locar en el terrat de la pròpia universitat. Concretament les cel·les PAUS es col·locaren al terrat del volum de l'edifici que alberga les aules de pràctiques. Aquest punt dista escassament 12 km, en línia recta, de la Plaça Catalunya de Barcelona. A la mateixa coberta de l'ETSAV hi ha situada una estació meteorològica (veure punt 4.2.2 d'aquest capítol)

A mitjans de febrer de 2011, es comencen a recollir dades de temperatura de les primeres cel·les. Posteriorment es van anar incorporant cel·les amb nous materials, o materials amb variacions en la seva superfície. La campanya acaba al setembre de 2014.



**Imatge 4.02.** Coberta de la ETSAV. El·lipse: situació cel·les PAUS. Fletxa: estació meteorològica  
**Font:** Google Earth

## 2. Campanya de modificació de superfícies.

Es partia de materials comunament utilitzats en el revestiments de coberta a Catalunya (sobretot a Barcelona) i se'ls hi modificava el color d'acabat. Posteriorment, en una segona campanya (veure capítol 5) es van modificar les superfícies d'aquests materials per aconseguir millores en el comportament a la radiació de la coberta i per tant, la seva repercussió tèrmica en les estances inferiors. Aquestes modificacions s'han realitzat per tal d'ajustar els paràmetres de reflexió i emissivitat. Les modificacions han afectat tan a la geometria, al color, al tipus de pigment...

El desenvolupament de cada una de les etapes queda descrit

## 3. Verificació en una obra real

La tercera etapa era més incerta en el temps, ja que calia trobar un edifici adequat a prop de la ETSAV, per tal de testar en la seva coberta un dels productes millorats avaluats en les etapes prèvies. L'objectiu d'aquesta etapa era demostrar una millora en el confort dels usuaris generada gràcies a al modificació de l'acabat de coberta.

La finalitat d'aquesta etapa era convèncer a les institucions de les bondats i senzillesa d'aplicació de les cobertes fresques, així com de les millores tèrmiques i econòmiques que genera. A més a més, a part del reduït cost econòmic, tant es aplicable en edificis existents (rehabilitació/ manteniment de la coberta) com en edifici de nova planta.

Finalment la verificació en una obra real es va fer en construccions modulars de la casa ALGECO. Aquesta empresa és la que construeix les escoles modulars per a la Generalitat. Ens permetia doncs, modificar un tipus de construcció, que ja per a la seva condició d'efímera, es sotmesa a un constant manteniment, amb alta proporció de coberta, respecte altres tancaments i amb problemes de sobreescalfament.

No imaginàvem que tindríem la sort de poder actuar sobre un edifici (o més ben dit, sobre un model constructiu) tan adequat per implementar una coberta fresca. (Veure Capítol 6).

## 4.2. DESCRIPCIÓ DE LES CEL·LES PAUS

El cos de la investigació necessitava d'una plataforma per tal de testar el comportament de diferents acabats de coberta. Tal i com ja s'ha dit s'utilitzaren les cel·les PAUS col·locades a la coberta de la ETSAV.

Cada una de les cel·les és cúbica i mesura 2,20m d'aresta. Cinc de les sis cares d'aquestes caixes, estan construïdes amb panells de fusta tipus OSB de 22mm de gruix i folrades interiorment amb 20cm d'aïllament tèrmic de fibres de fusta GÚTEX [1] (landa  $\lambda=0.045$  w/mK) .

Les juntes constructives entre els panells de fusta són segellades amb bandes adhesives (DA-S Tira de Lámina reguladora de vapor [2]) que impedeixen el pas de l'aire i garanteixen una adequada estanquitat a les infiltracions. Aquests junts són farcits amb aïllant de llana d'ovella, per tal de mantenir una transmitància homogènia en tota la cara.



**Imatge 4.03.** Procés de muntatge d'una cel·la.  
**Font:** OMR

La sisena cara, que en aquest cas fa de tapa o coberta superior, és on es col·locarà, per damunt, el material de revestiment a testar.

Com a pla de suport d'aquest revestiment es construeix una tapa de fusta contralaminada de taulell d'encofrar. Aquesta tapa queda col·locada sobre cada cel·la, ajustada i amb una pendent del 2% per al seu desguàs.

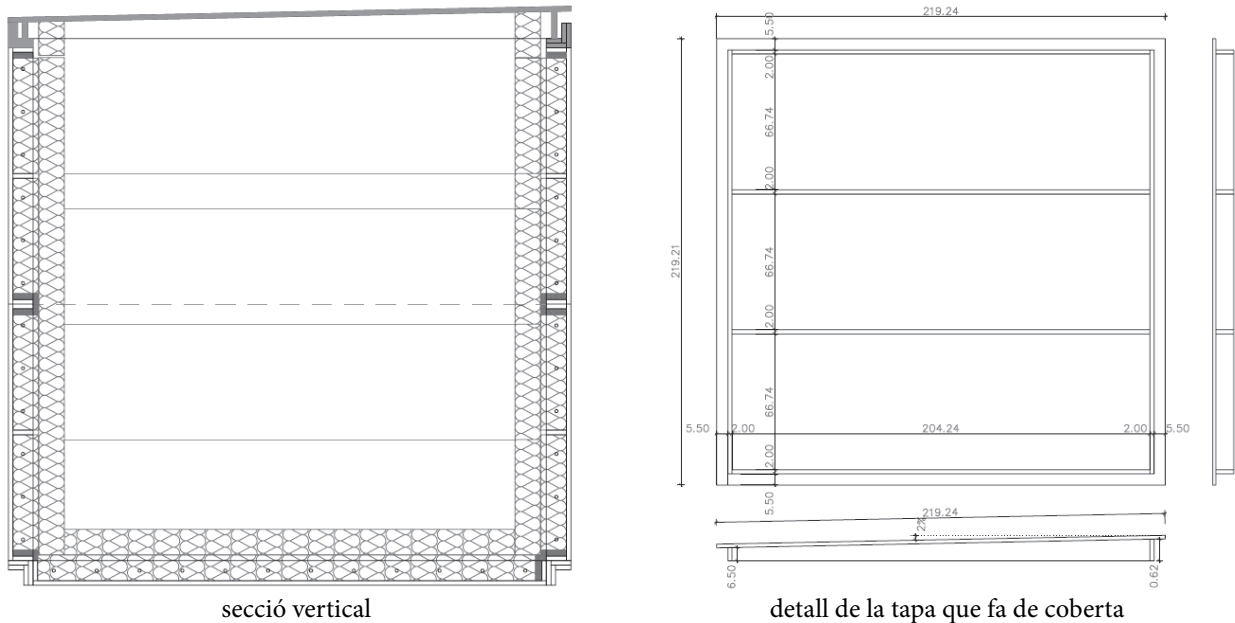
Sobre aquest pla de suport es situà una membrana impermeable, de 1,20mm de gruix d'EPDM o PVC (segons subministrador).

Finalment, es disposa el material de revestiment a testar.

Totes les cares exteriors de la cel·la (a excepció dels plans horitzontals) es van pintar amb lassure. Aquest revestiment protegia la fusta respecte de les inclemències meteorològiques. El lassure aplicat és de color blanc per evitar que les cel·les s'escalfin a través de les cares verticals, reduint així la incidència d'aquestes en la temperatura de l'aire interior. Es pretén que les variacions les determinin, majoritàriament, les característiques del material de coberta situat a la cara superior.

Cada cel·la s'enumerà amb un número, des de la 0, sobre la qual col·locà el material de referència(-ceràmica) fins a la 5. A la resta de cel·les s'hi testaran altres material. (veure punt 4.4 on s'enumeren les empreses que han col·laborat i els materials que han estat testats.) Degut al nombre de materials

que finalment han estat testats, en algunes cel·les hi ha hagut més d'un material, provats en etapes successives.(veure taula 5.02).



**Imatge 4.04.** Plànols de la cel·la tipus: secció i detalls de la tapa superior.

**Font:** PAUS i OMR

Cada una de les cel·les va equipada amb tres sondes de temperatura, dues, en les cares inferior i superior del material, i un al centre de l'espai. (veure imatge 5.06)

Les variacions obtingudes en les temperatures de cada cel·la respecte del material de referència, seran indicatives de l'impacte de les millores dels materials estudiats. Aquestes variacions només podran ser comparatives respecte al material de referència, ja que les caixes s'avaluaran en règim lliure (o sigui no es contempla fonts de calor/fred internes).



**Imatge 4.05.** Cel·les ja disposades a la coberta de l'ETSAV.

**Font:** OMR

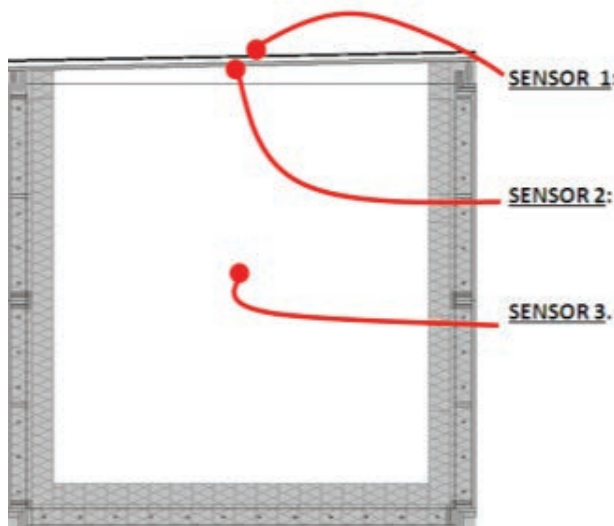


La disposició de les caixes en la coberta havia de garantir que cap d'elles fes ombra sobre les seves veïnes i que cap ombra d'altres d'elements constructius preexistents de la coberta hi recaigui. Només d'aquesta forma ens asseguràvem que les condicions de clima fossin iguals per a cada una de les cel·les.

#### 4.2.1. INSTRUMENTACIÓ DE MESURA EN CEL·LES PAUS

Per tal de plasmar les reaccions de cada material de coberta, cada una de les cel·les disposa de tres sondes. Aquestes envien dades a un recol·lector (data-logger), que les emmagatzema. Mitjançant un software específic serà possible descarregar les dades i visualitzar diagrames, taules, dietaris ... fets a partir d'aquestes dades. A més a més, per creuar dades de diferents materials, les dades són exportables al programa Excel, el que ens ha permès realitzar gràfics comparatius.

La situació de les sondes en cada cel·la és: un immediatament sobre el material d'acabat de coberta, un altre just sota l'acabat de coberta i un tercer al centre de l'espai interior de la cel·la :



**Imatge 4.06.** Secció transversal de la cel·la PAUS i situació dels tres sensors o sondes.

Font: OMR



**Imatge 4.07.** Sensor 1 d'una cel·la. Data logger.

Font: OMR

- Sonda 1: Mesura la temperatura superficial exterior del material i per tant avalua indirectament la reflectivitat.
- Sonda 2: Mesura la temperatura superficial interior, just sota el material.
- Sonda 3: Mesura com aquests dos anteriors paràmetres influeixen en l'ambient interior. La temperatura interior a la cel·la PAUS ens permet avaluar indirectament la incidència de la coberta fresca en un local habitable.

L'equip de sondes de mesures, el software utilitzat, així com els equips auxiliars per a baixar les dades recollides per les sondes són de la casa TESTO:

- Data-Logger Cel·les 0, 1, 2 i 3: Model testo 177-T4 de 2 línies, 4 canals de temperatura externs. Rang de funcionament de -100 a +400°C tipus T. Capacitat de memòria 48.000 valors.
- Data-Logger Cel·les 4, 5. Model Testo 176-T4 de 2 línies, 4 canals externs Termopar. Rang de funcionament de -200 a +1000°C (tipus k). Memòria 2 millions de valors. Intèrval de medició de 1 seg a 24 h. Protecció classe IP 54. Interfaces: equipat amb connexió USB i ranura per a targeta SD. Dimensió 103x63x33mm.
- Sondes: els tipus de sensors utilitzats són de fil termopolar tipus K (NiCr-Ni) flexible, fibra de vidre, Ø1,5mm. Rang de temperatures -50 a +400°C. Longitud de sonda 1500mm sensors 1 i 2 i 2000mm sensor 3.
- Recol·lector de dades Testo 580 para interfase USB, inclou suport per als data loggers 175/177. capacitat de memòria: 1 MB.
- Software: Set comsoft4 bàsic per a Testo 177, software amb visualització de diagrames i taules, interfase USB. Possibilitat d'edició de gràfiques i taules de dades amb Excel de Microsoft.



**Imatge 4.08.** Imatges comercials dels data loggers i el recol·lector de dades.

**Font:** imatges catàleg comercial Testo

La periodicitat amb que es realitzaran les lectures de temperatura serà cada 15 min, o sigui 4 dades cada hora. La estació meteorològica de l'ETSAV, recull dades cada 30 minuts això permet de forma senzilla creuar dades.. Aquesta cadència de dades és suficient per permetre copsar els canvis de temperatura en els diferents punts i relacionar aquests amb els canvis en la radiació solar. L'estació meteorològica va amb l'hora solar, o sigui 1 o 2 hores de diferència amb la nostra hora oficial, segons si és hivern o estiu respectivament. Cal programar els data-logger en la franja horària solar.



**Imatge 4.09.** Càmeres termogràfiques Flir i5 i Flir i7

**Font:** Imatges comercials

La campanya contempla també fotografiar els materials de revestiment de coberta amb càmeres termogràfiques. Aquestes imatges aportaran una idea del comportament de les sis solucions de revestiment de coberta, i a quina temperatura relativa està cada material. L'Escola Tècnica Superior d'Arquitectura disposa de dues càmeres termogràfiques, la Flir i5 i la Flir i7. Per impossibilitat de fotografiar les sis cel·les a la vegada, les fotografies només mostren imatges parcials de les cel·les.

#### 4.2.2. ESTACIÓ METEOROLÒGICA

En el mateix terrat de l'ETSAV on es situaren les caixes hi ha actualment una estació meteorològica (a la que s'ha fet referència en el punt anterior). Aquesta estació està dotada dels següents aparells:



**Imatge 4.10.** Estació meteorològica situada a la coberta de l'ETSAV.

**Font:** OMR

- Piranòmetre: número d'hores de sol diàries.
- Termòmetre: temperatura a l'ombra.
- Higròmetre: humitat relativa i absoluta en l'aire
- Pluviòmetre: mm d'aigua per hora
- Anemòmetre: Velocitat i direcció del vent. (Segons la seva intensitat, les pèrdues de temperatura superficial per convecció seran molt majors i llavors les temperatures interiors tendiran a uniformitzar-se).

### 4.2.3. CONTROL DE LA INÈRCIA

Aquestes cel·les tenen molt poca o gens d'inèrcia, atès que únicament hi ha aire en el seu interior i que són molt lleugeres.

Per tant amb molt poca energia obtindrem grans variacions de temperatura. Això implica que amb una petita infiltració d'aire exterior es poden produir grans variacions en la temperatura de l'aire interior, distorsionant els resultats o fent-ne més difícil el poder analitzar-los.

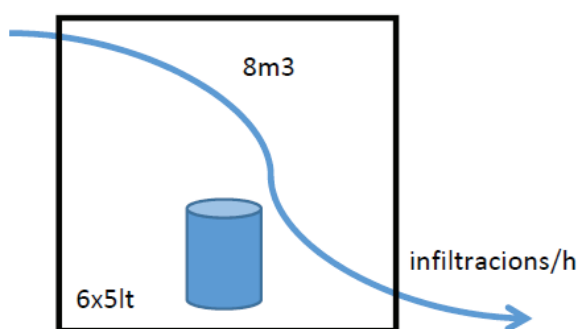
Sembla prudent afegir certa inèrcia a l'interior de la caixa. Per aconseguir-ho es col·locaren en el seu interior garrafes plenes d'aigua.

Numèricament, comparem quina energia (en cal) necessitem per variar el volum d'aire i el volum d'aigua, i tal i com es pot veure a continuació, es demostra que amb l'afegit d'una quantitat d'aigua la temperatura interior de la cel·la es mantindrà molt més estable.

Justificació numèrica:

Suposem que a l'interior de la cel·la tenim 8 m<sup>3</sup> d'aire i 30 lt d'aigua:

Utilitzant la fórmula  $Q = V \cdot Ce \cdot D \cdot (Ti - Tf)$  suposant condicions d'inici i final iguals, obtindrem l'energia requerida per modificar els dos fluids (aire i aigua), on:



Imatge 4.11.  
Font: OMR

V=volum

Ce=calor específic

D= densitat

Ti= Temperatura inicial

Te= Temperatura final

Aire: Inèrcia aire Ce= 1,012 kJ/kg.°K

densitat aire D= 1,21 kg/m<sup>3</sup>

Per a 1m<sup>3</sup> d'aire serà:

Q= 1.2245 KJ (1cal= 4187J)

Per a 8m<sup>3</sup> d'aire serà:

Q= 2.34 cal

Aigua: Inèrcia aigua  $C_e = 4,1813 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{K}$

densitat aigua  $D = 1000 \text{ kg/m}^3$

$$Q = Vol \cdot C_e \cdot D \cdot n \cdot (T_{inicial} - T_{final})$$

On:  $vol = 20 \text{ dm}^3 \cdot \text{calor esp. aire} \cdot \text{densitat aire} \cdot \text{dif. Temp}$

Per 30 lt d'aigua, l'energia és:

$$Q = 29.97 \text{ cal}$$



**Imatge 4.12.** Vista de l'interior d'una cel·la amb les garrafes plenes d'aigua.

Font: OMR

Així doncs podem concloure que: per variar un grau els  $8 \text{ m}^3$  d'aire necessitem  $2'34 \text{ cal}$  en canvi per variar un grau els 30 lt d'aigua necessitem  $19,97 \text{ cal}$ :

Amb aquesta mesura hem aconseguit:

1.  $29'97/2,34 = 12,80$ . Els 30 lt seran com si tinguéssim 12 vegades mes aire  $\rightarrow 8 \times 12 = 96 \text{ m}^3$
2. Estarem reduint per 12 l'afectació de les infiltracions.
3. Farem que la temperatura interior sigui 12 vegades mes estable. Sempre i quant hi hagin infiltracions.
4. La variació per cada grau serà 12 vegades més lent.

#### 4.2.4. VERIFICACIÓ DE LA IDONEÏTAT DE LES CEL·LES

Per treballar en règim lliure (o sigui sense aportar energia de cap tipus de forma artificial a les cel·les) i comparativament entre els resultats d'una i altre cel·la, era absolutament necessari garantir que totes tenen un funcionament tèrmic similar per validar els resultats. L'objectiu era conèixer el grau de variació que hi pot haver entre dues cel·les "idèntiques" per causes d'imperficcions en la seva construcció. La primera l'etapa del projecte consistí en verificar el funcionament de les cel·les. El període que es va estudiar va ser entre 1/03/2011 i el 15/04/2011, amb un total de 4363 dades comparades.

La comprovació comparava entre si les dades de temperatura a l'interior de les cel·les. A aquest efecte, es mesuraren les temperatures de dues cel·les muntades idènticament i amb el mateix material d'acabat de coberta. El material que es va utilitzar era la ceràmica (rassilla, de Ceramics CALAF). Es pretenia provar que la variació entre totes dues cel·les era prou petita per a considerar que els resultats es podrien comparar quan els acabats de coberta fossin diferents.

Comparant les dades recollides durant un temps determinat a l'interior de totes dues cel·les (sensor 3 –temperatura aire interior-), han sortit valors prou propers. Veure quadre (taula 5.01) següent:

Num. resultats iguals	Diferència entre les dades de la sonda 3 caixa 0 i caixa 1	Percentatge sobre el total de dades
1	0,80°C	0,02%
15	0,60°C	0,34%
39	0,50°C	0,89%
178	0,40°C (177 de positives i 1 de negativa)	4,08%
381	0,30°C (367 de positives i 14 de negativa)	8,73%
834	0,20°C (684 de positives i 150 de negativa)	19,12%
1739	0,10°C (1136 de positives i 603 de negativa)	38,96%
1176	0,0	26,95%
Total d'edats: 4663	Mes del 85% de les dades preses tenen una diferència igual o inferior a 0,20°C	

**Taula 4.01.**

**Font:** OMR

Un 85% de les dades comparades, tenen una diferència inferior a 0,2°C, per tant, quedà constatat que la construcció de es cel·les PAUS té un comportament prou semblant. Això garantirà que les diferències de temperatura, quan els materials de revestiment siguin diferents, es donaran per la naturalesa reflectant dels materials de coberta i no per altres variacions de construcció (infiltracions, ponts tèrmics...).

Un cop obtinguts uns resultats que manifesten un funcionament semblant de les cel·les i resolt el control de la inèrcia, estàvem en posició d'iniciar la primera etapa del projecte.

### 4.3. MATERIAL DE REFERÈNCIA.

El material de referència, el que es col·locà sobre la cel·la 0, fou la ceràmica (anomenat de forma tradicional rassilla). S'ha triat la ceràmica, ja que, la majoria de cobertes de l'àmbit mediterrani (àrea que es pretén avaluar l'impacte de la millora proposada) i en especial a la ciutat de Barcelona són d'aquest material.

Color: rosat  
dim: 14 x 28 x 1,3  
cm  
Acabat: STD-  
standard



Com ja s'ha dit, els resultats de tots els altres materials, o millores aplicades sobre la ceràmica, seran comparats amb el de referència. Per tant els valors d'aquesta investigació no seran absoluts, sinó relatius respecte el material de referència.

**Imatge 4.13**

**Font:** CERAMICAS CALAF S.A.



L'empresa que ens subministrarà aquest material ha estat CERÀMICAS CALAF S.A [3]. Concretament el model de rajola és la rasilla 2es de 13mm [4]. Aquest no és altre que la rajola borda comunament utilitzada com a paviment per a cobertes tipus terrat transitable.

### 4.4. EMPRESAS COL·LABORADORES.

El material de referència ha estat la base a partir del qual s'han valorat l'eficàcia de les operacions de millora. Aquestes millores, ja siguin aplicades sobre el material de referència o be sobre nous materials, aniran sempre orientades a millorar l'albedo de les cobertes i sobretot evitar sobreescalfament per millorar el confort tèrmic de les cambres habitables situades just a sota d'aquestes.

Les millores en els revestiments de terrats han anat en tres direccions:

- Utilitzar materials de colors el més clars possibles, els quals reflectiran més la radiació solar, i per tant s'escalfaran menys.
- Revestir amb pigments “freds” (aquests són els que reflecteixen sobretot les longituds d'ona que pertanyen a l'infraroig proper, banda de la radiació que aporta més calor sobre l'objecte incident).
- Modificar la geometria o el relleu del propi revestiment de la coberta, de forma que es puguin provocar petites cambres d'aire ventilades o be jocs d'ombres mútues que protegeixin part del revestiment respecte al sol.

Totes aquestes millores es compararan entre elles (en cas de tenir un homònim de naturalesa semblant), i amb el material de referència.


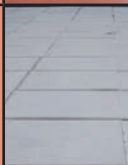



Per a realitzar aquestes millores ha estat necessari la complicitat d'industrials, que de forma desinteressada han cedit els seus materials i els seus coneixements.

La taula següent, ordena els diferents materials que s'han avaluat, l'empresa i contacte de la persona que els ha cedit, el període de temps que han s'han exposat i una imatge del material.

El quadre també defineix el número de cel·la i el material d'impermeabilització que té. En el cas concret de CERÀMIQUES CUMELLA s'especifica en quina orientació es van disposar les ranures de la superfície de la rajola.



ANÀLISIS TÈCNiques I FÍSiques DEL COMPORTAMENT  
DE LES COBERTES "FRESQUES" (COOL ROOFS) : EL CAS DE CATALUNYA.

Cèl·la	Membrana impermeable i material d'acabat de coberta:	Material i característiques: pes, gruix... forma de col·locació	Casa	Contacte	M2 necessaris i forma de col·locació	Període		Imatge
						Inici	Fi	
0.	EPDM 1,20mm Material de referència: ceràmica	Rasilla o rajola borda.	Ceramicas Calaf	Elsa o Joan Lladó 938698250		Febrer 2011	Març 2014	
1.	EPDM 1,20mm Material de referència: ceràmica i pintura blanca	Pintura blanca.	Ceramicas Calaf + REVE-TON	Jaume Pallice Brand manager 618144981		Abril 2011	Març 2014	
2.	PVC 1,20mm Formigó porós	Llosa de formigó, tipus filtón sense aïllant.	INTEMPER?	Xavier Vilar 638015094		Maig 2011	Juny 2013	
	PVC 1,20mm Ceràmica esmaltada blanca llisa	Ceràmica esmaltada blanca llisa, brillant i mate.	CERÀMIQUES CUMELLA	Antoni Cumella 620226698		Juny 2013	Set. 2014	
3.	PVC 1,20mm Formigó porós pintat blanc	llosa de formigó, tipus filtón sense aïllant, pintat blanc.	INTEMPER?	Xavier Vilar 638015094		Maig 2011	Juny 2013	
	PVC 1,20mm Ceràmica esmaltada blanca textura	Ceràmica esmaltada blanca textura, brillant i mate.	CERÀMIQUES CUMELLA	Antoni Cumella 620226698		Juny 2013	Abril 2014	
					Es canvia orientació ranures	Abril 2014	Set. 2014	
4.	EPDM 1,2mm Material de referència ceràmic amb esmalt	Esmalt format per el pigment Sicopal® Black K 0095.	BASF	Manuel manuel.martos-carmona@basf.com		Nov. 2011	Març 2014	
5.	EPDM 1,2mm Grava blanca	Grava de marbre d'entre 1-2 cm de diàmetre.	GARDEN			Set. 2012	Set. 2014	

**Taula:** 4.02.  
**Font:** OMR

Les empreses col·laboradores han estat:

Material característiques:	Empresa/ Contacte/ Web
Rasilla o rajola borda	Ceramicas Calaf S.A. Sra. Elsa o Sr.Joan Lladó Tel 93 869 82 50 <a href="http://www.ceramicascalaf.com">http://www.ceramicascalaf.com</a>
Pintura blanca	Ceramicas calaf + REVETON TEC PLUS Jaume Pallice, Brand manager Tel. 618 144 981 <a href="http://reveton.com/productos/membranas/sistemas-de-impermeabilizacion-de-reveton/reveton-cubiertas-1/">http://reveton.com/productos/membranas/sistemas-de-impermeabilizacion-de-reveton/reveton-cubiertas-1/</a>
Llosa de formigó, tipus FILTRON sense aïllant: natural i pintat blanc	INTEMPER Xavier Vilar Tel 638015094
Ceràmica esmaltada blanca llisa i texturizada, brillant i mate	CERÀMIQUES CUMELLA Antoni Cumella Tel. 620226698 <a href="http://www.cumella.cat/home.htm">http://www.cumella.cat/home.htm</a>
Esmalt format per el pigment Sicopal® Black K 0095	BASF Manuel Martos <a href="mailto:manuel.martos-carmona@basf.com">manuel.martos-carmona@basf.com</a> <a href="http://www.dispersions-pigments.basf.com/portal/basf/ien/dt.jsp?setCursor=1_559806">http://www.dispersions-pigments.basf.com/portal/basf/ien/dt.jsp?setCursor=1_559806</a>
Grava de marbre d'entre 1-2 cm de diàmetre	Centro de jardineria JARDILAND Ctra. Sant Cugat a Rubí, km 14,5

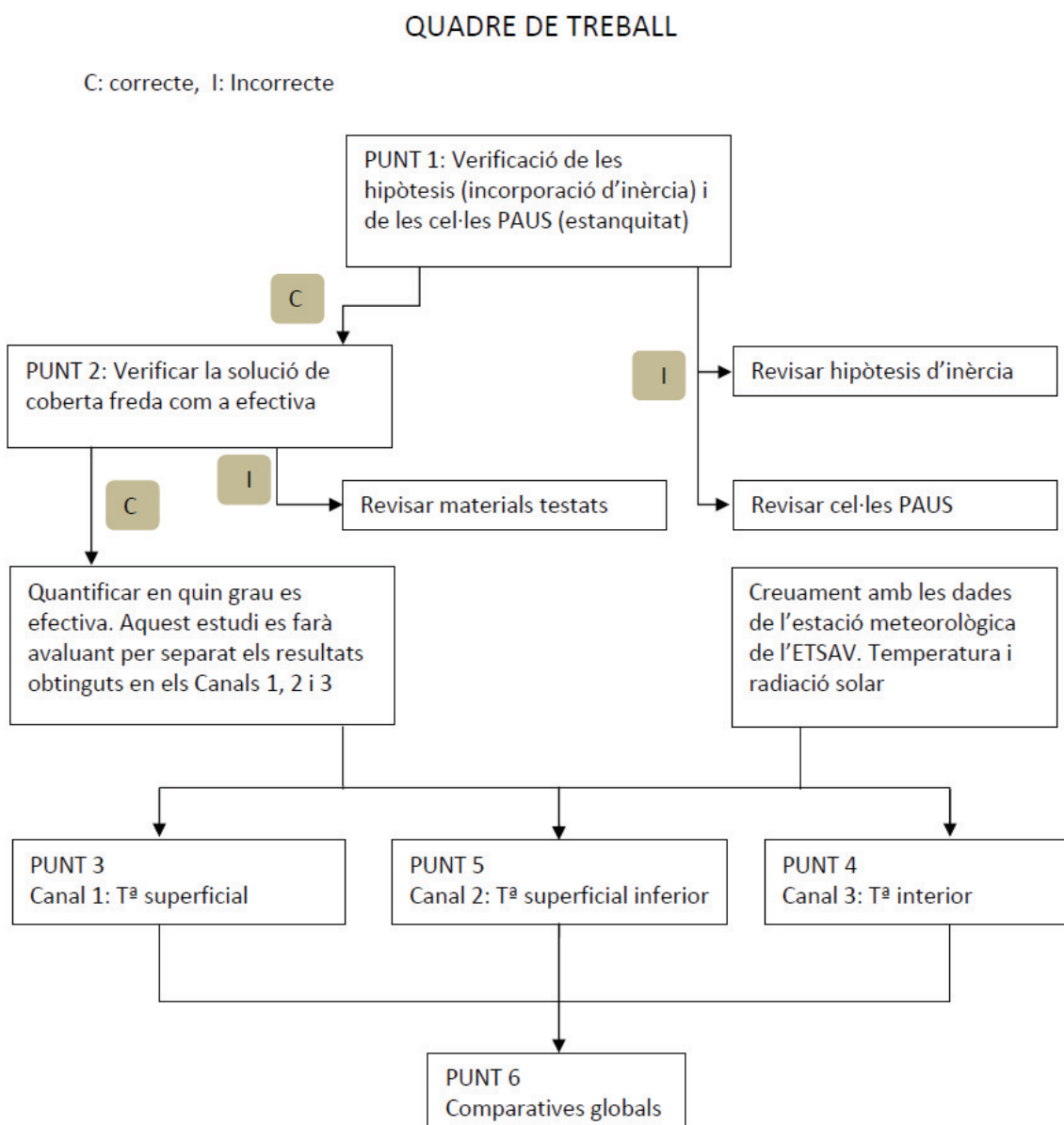
**Taula:** 4.03.

**Font:** OMR

#### 4.5. ANÀLISI DE RESULTATS.

Aquest punt no pretén ser un recull de totes les dades numèriques que s’han anar recopilant des del mes de març del 2011 fins al setembre de 2014. Aquest seria un gruix important de paper de dubtós interès. Els resultats representen aquells trets més destacables, en els períodes amb més representatius d’allò que es pretén demostrar. La totalitat dels les dades tèrmiques emmagatzemades es poden consultar al CD annex a la tesi.

Els resultats es presenten seguint el diagrama adjunt anomenat QUADRE DE TREBALL. Amb aquest, es pretén oferir una explicació clara del recorregut i del resultats fins ara obtinguts.

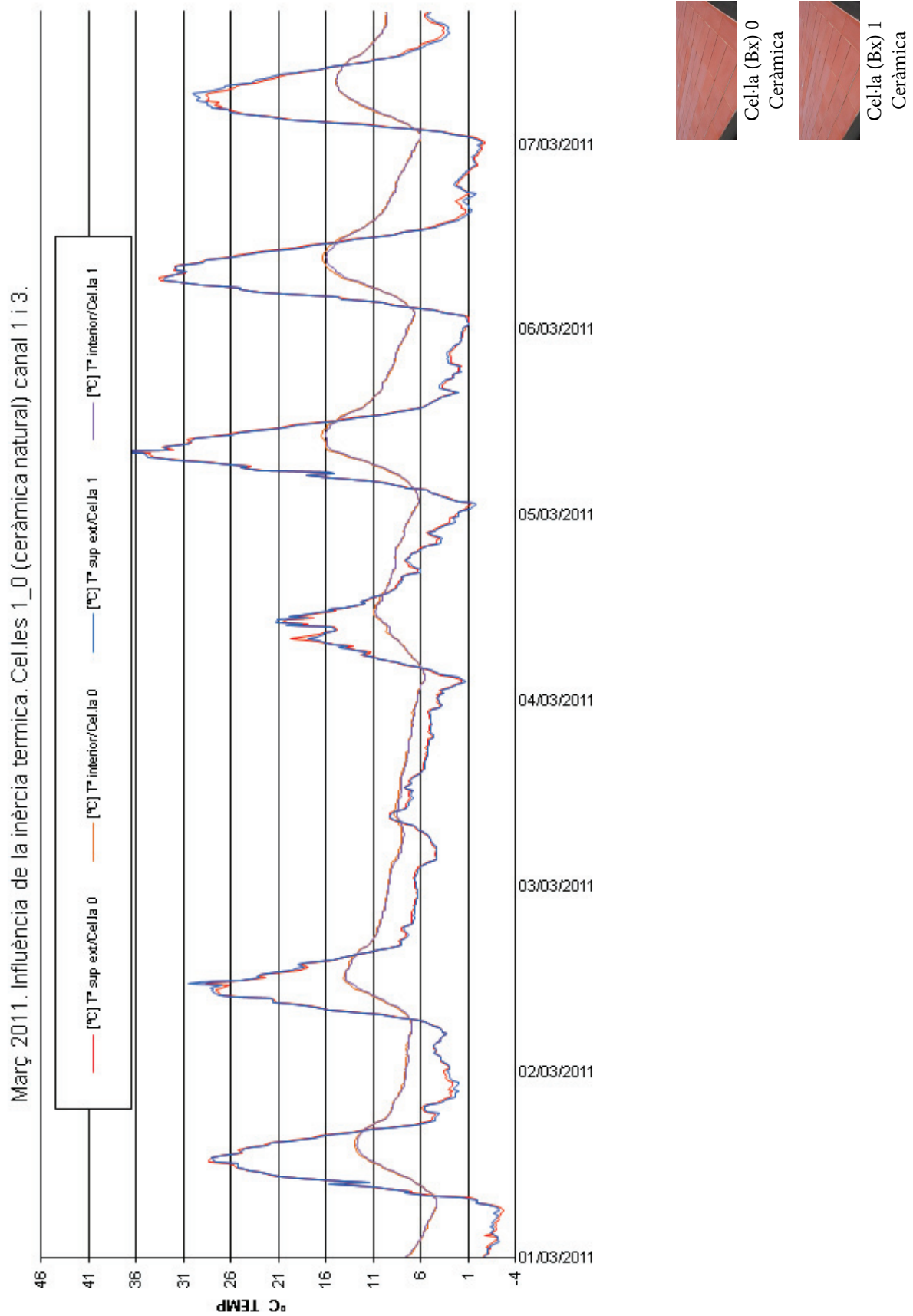


**Imatge 4.14.** Quadre amb la metodologia de treball utilitzada. En aquest es representa, de forma gràfica, el conjunt de tasques executades i la forma en que s’analitzaran les dades que s’obtingui.

Font: OMR

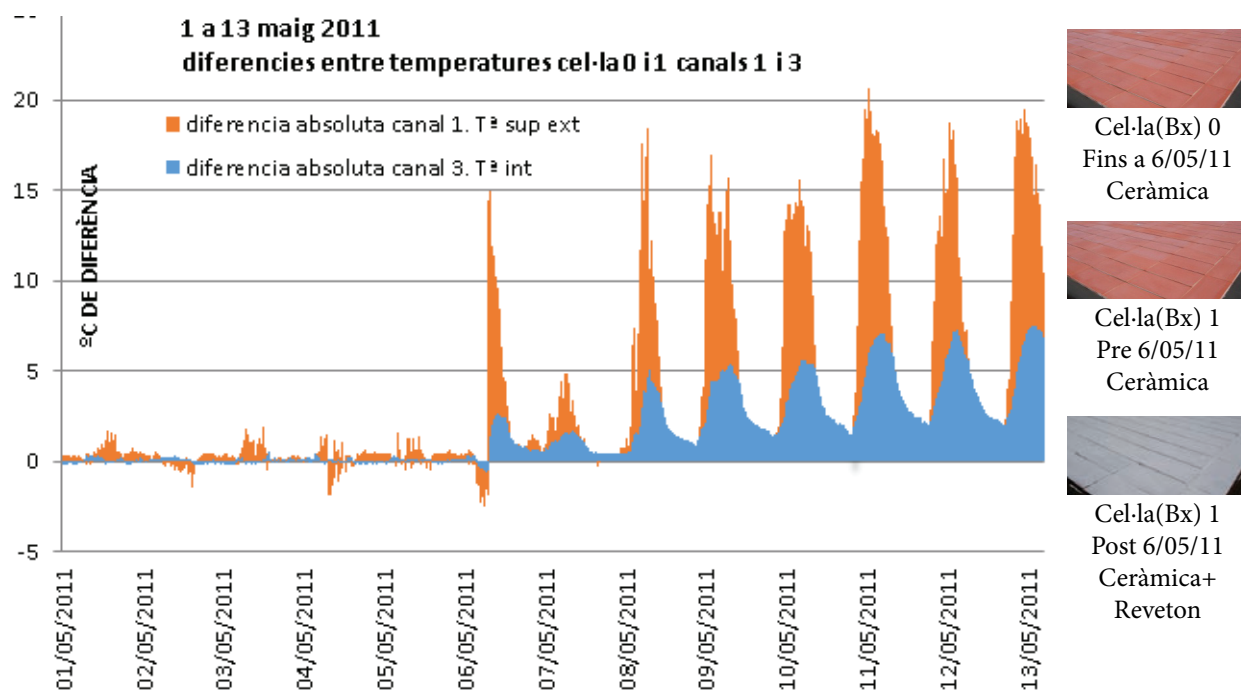
Respecte el punt 1, ja s'ha mostrat l'efectivitat i la similitud del comportament de les cel·les per tal de garantir que els resultats en una i altre seran comparables.

A nivell gràfic, és també interessant verificar la influència d'haver incorporat inèrcia tèrmica a l'interior de la cel·la (obtinguda amb 6 garrafes d'aigua de 5 litres cada una). La gràfica següent 4.01 compara les temperatures de les cel·les 0 i 1 (ambdues amb ceràmica tipus rassilla) i les sondes 1 (superficial) i 3 (interior). Tal i com es veu en la gràfica següent (núm. 4.01), fa que hi hagi un cert desplaçament entre el moment temporal de temperatura màxima en els canals 1 i 3, i que el refredament a l'interior de la cel·la sigui molt més lent, gràcies a la incorporació de l'aigua.



**Gràfica 4.01.** De 01 a 07 de març 2011, canal 1 i 3.  
**Font:** OMR

Respecte el punt 2 (imatge 5.14), en el que ens preguntàvem si realment es efectiva aquesta solució de revestiment de coberta, i si es possible quantificar de forma explícita les variacions de temperatura, abans i després de ser modificada la superfície en el material de coberta, la gràfica 4.02 mostra que la resposta és afirmativa.



**Gràfica 4.02.** De 01 a 13 de maig 2011, canal 1 i 3.  
Font: OMR

En la gràfica 4.02 es representen les variacions en les cel·les 0 i 1, entre els canals 1 i 3 ( $T^a$  sup ext i  $T^a$  int), abans i després del 6 de maig, dia que es va pintar de blanc la superfície de la ceràmica de la cel·la 1.

Tal i com s'aprecia les diferències entre les temperatures preses els canals 1 i 3 (superficials exterior i interior cel·la) passen a partir del dia 6 de maig a tenir valors molt més elevats dels que tenien fins el moment anterior. Per tant, podem concloure que el tractament en la cara superior de l'acabat de coberta té uns efectes directes tan en la temperatura del material d'acabat de coberta com en l'ambient interior. En la cara superficial arribem a diferències de fins a 20°C (taronja) i en l'interior de la cel·la de 7-8°C (blau). Resultat d'aquestes variacions són: disminució de l'estrès tèrmic -dilatacions i contraccions del material d'acabat de coberta- i una disminució de la temperatura ambiental a l'interior de la cel·la.

#### 4.5.1. COMPARATIVES ENTRE DIFERENTS MATERIALS

Aquestes comparatives, es varen realitzar, inicialment, entre peces de dos materials: ceràmica i formigó porós. La ceràmica és la utilitzada fins el moment, la rajola rosada de CERÁMICAS CALAF.

El formigó porós utilitzat és el que va cedir la casa INTEMPER, per a les rajoles tipus FILTRÓN, en el nostre cas sense l'aïllament tèrmic que acostuma a portar adherit en la seva cara inferior.

Els materials amb els que es treballa són i la situació que tenen és

- Cel·la 0 : ceràmica vermella (natural).
- Cel·la 1 : ceràmica blanca (pintat amb pintura blanca REVETON TEC PLUS).
- Cel·la 2 : formigó porós (llosa FILTRÓN natural).
- Cel·la 3 : formigó porós blanc (llosa FILTRÓN blanca).

Els primers assajos, ens vàrem limitar a emblanquinar la superfície de les peces. En la ceràmica es va utilitzar la pintura de la casa MATERIS PAINTS REVETON TEC PLUS, per al formigó porós, pintura plàstica blanca –les rajoles varen ser subministrades per INTEMPER ja amb la imprimació blanca.

Aquesta, era una aposta segura, però ens serví per avaluar en quin grau i quin efecte pot arribar a tenir un mateix material, en el qual només se li ha modificat la superfície d'acabat en el que incideix la radiació solar.



Cel·les 0 i 1: Ceràmica i ceràmica amb revestiment blanc



Cel·les 2 i 3: Formigó porós i formigó porós amb revestiment blanc

**Imatge 4.15**  
**Font: OMR**



Per comparar aquests dos parells de materials se van incorporar a l'estudi dues cel·les més. La cel·la 2 amb un acabat de lloses de formigó porós –llosa FILTRÓN sense l'aïllament tèrmic- i la cel·la 3 amb les mateixes lloses emblanquinades. Per pintar aquestes peces, INTEMPER va utilitzar una pintura plàstica per exteriors, per evitar que formés una pel·lícula impermeable i que la peça mantingués la porositat.

Ens preguntàvem si els resultats serien semblants tan en cobertes de ceràmica com en cobertes de formigó porós i quin pes tindria la diferent massa superficial (densitat x gruix) de cada un dels materials.

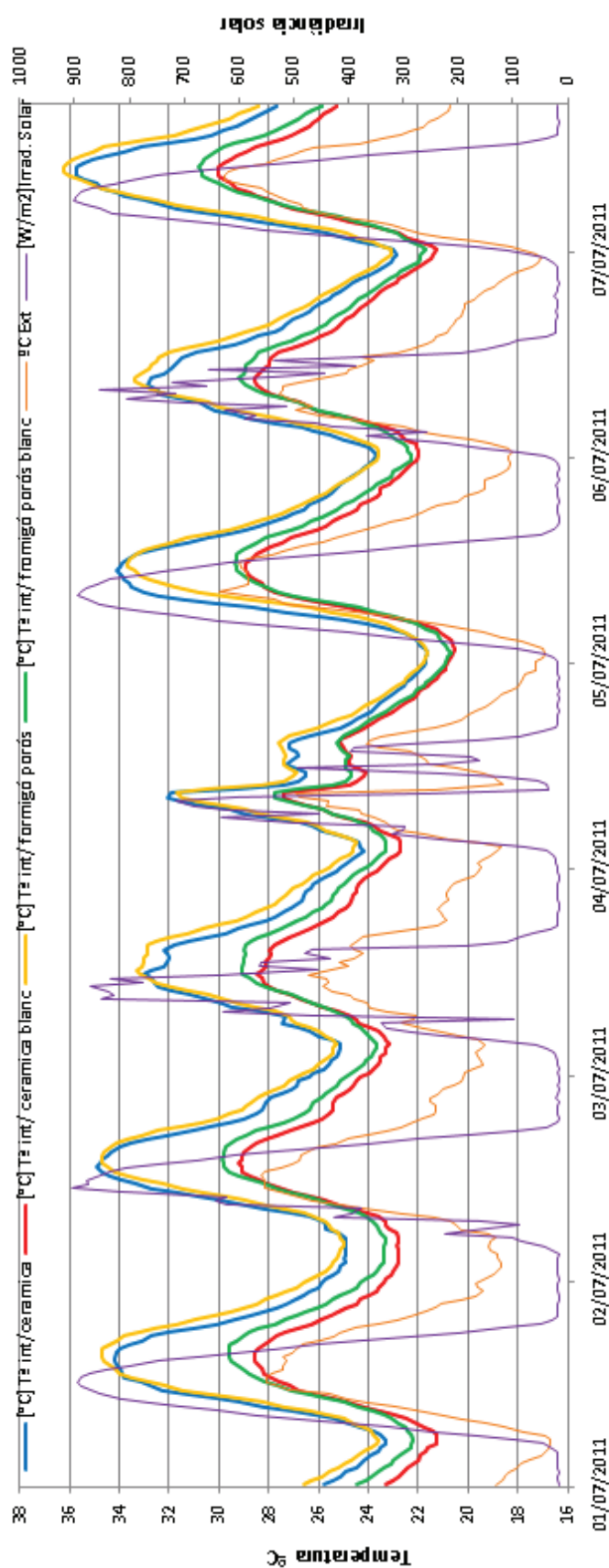
En la gràfica núm. 4.03 es pot observar les quatre corbes dels canals que mesuren la  $T^a$  interior -sonda 3-. Aquesta mostra l'evolució de les temperatures interiors de les cel·les durant una setmana representativa d'estiu.

Hi ha dos grups de dos, les dues corbes que discorren per la part superior (que estan a major temperatura) són les que corresponen a les cel·les 0 i 2 ceràmica i formigó porós respectivament. Les dues inferiors són les de les cel·les 1 i 3 que corresponen a les de ceràmica i formigó les quals han estat pintats de blanc. Aquest efecte es produeix tan de dia, com de nit. Evidentment de dia les diferències són molt superiors.

Mantenir els interiors frescos, sempre ha estat un repte en els països més càlids. La incapacitat d'aquestes cel·les de disposar de ventilació nocturna, fa que les temperatures mínimes mai arribin a assolir la temperatura mínima exterior.

En la gràfica s'incorporen també la temperatura exterior i la irradiància solar.

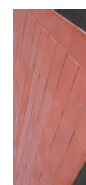
Evolució de les temperatures interiors a l'estiu.  
1 - 7 juliol 2011. cel·les 0-1-2-3. canal 3 (T<sub>a</sub> interior), temperatura exterior i irradiància solar.



Cel·la (Bx) 2  
Formigó porós



Cel·la (Bx) 3  
Formigó porós  
blanc



Cel·la (Bx) 0  
Ceràmica



Cel·la (Bx) 1  
Ceràmica blanca

Gràfica 4.03. 01 a 07 de juliol de 2011. Canal 3

Font: OMR

Fent un zoom a la gràfica 4.03 ens adonem que les 4 corbes estudiades no es mantenen paral·leles dues a dues, sinó que es van creuant. Aquest efecte podria ser degut a la diferent massa de les peces d'acabat de coberta. Les peces de les cel·les 2 i 3 triguen més temps a refredar-se i es mantenen a més temperatura durant més estona.

Per veure amb més detall es fa en una gràfic, centrat en un sol dia (Gràfica 4.04) el 5 de juliol. En aquest, es representa les variacions de temperatura superficial interior de l'acabat de coberta (Canal 2).

Les corbes de les cel·les 2 i 3, les que tenen una llosa de formigó porós, són més arrodonides, amb temperatures retardades respecte els fenòmens atmosfèrics (temperatura i radiació solar). Les lloses de formigó són de 3 cm de gruix, amb més massa que els acabats de ceràmica, que tenen escassament 1'2 cm.

Si calculem la massa tèrmica de totes dues solucions, per un metre quadrat, de coberta obtenim les masses tèrmiques:

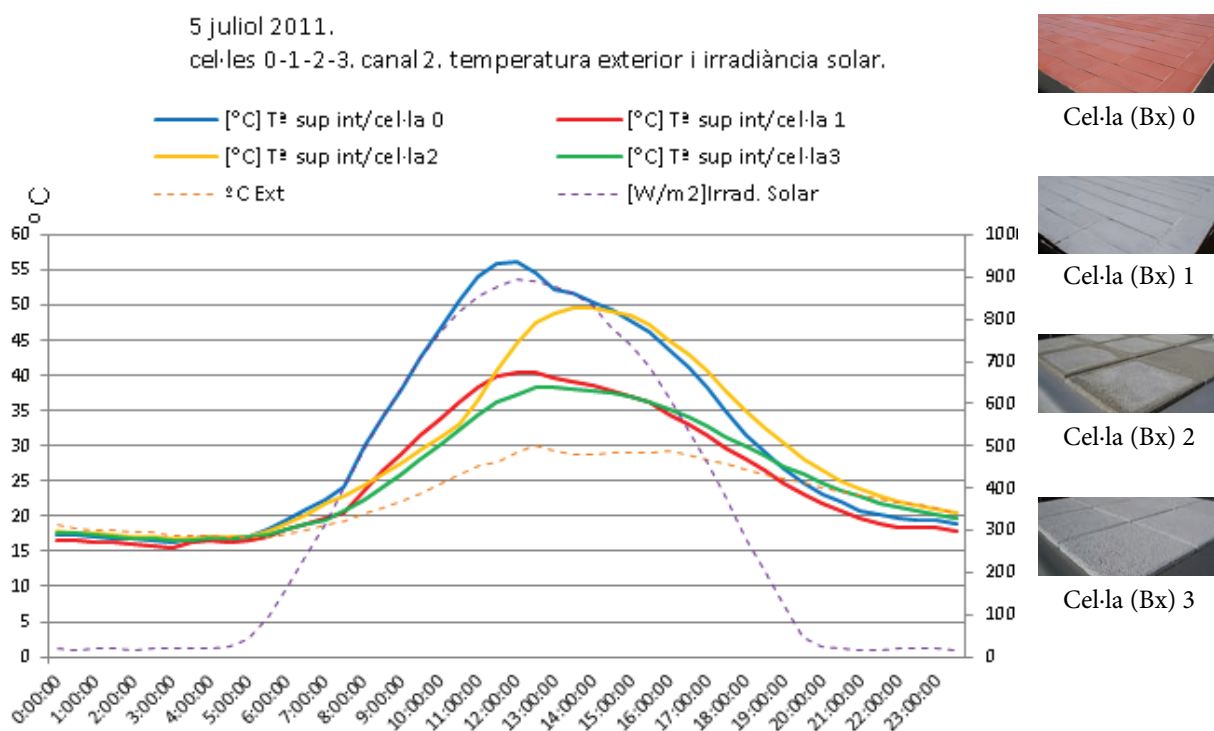
	Densitat (Kg/m <sup>3</sup> )	Calor específic (J/KgK)	Gruix (mm)	Massa tèrmica (J/K)
Formigó porós	2000	1000	35	70.000
Ceràmica	1500	1000	13	19.500

De la taula superior és evident que, el formigó porós, té una major capacitat tèrmica, aproximadament 3,6 vegades superior. És doncs evident que el temps en escalfar-se i refredar-se sigui més lent que en el cas de la ceràmica

Així, segons es pot observar en les gràfiques 4.03 i 4.04 podem afirmar que:

com més lleuger sigui el material de coberta més ràpidament es refredarà a la nit i durant menys temps hi haurà una massa escalfada amb contacte amb la construcció. (cal recordar que si interpossem un aïllament tèrmic entre l'acabat de coberta i l'interior, aquest efecte tindrà menys repercussió en la temperatura ambient dels interiors)

- Les solucions amb més massa s'escalfen menys en les hores de màxima radiació solar.
- Degut a la major massa del formigó porós, la màxima temperatura del material es desplaça 3-4 hores del moment del dia de màxima radiació. En el material ceràmica no es dona aquest desplaçament.
- Entre les dues mostres de formigó (cel·les 2 i 3), la peça blanca, s'escalfa menys i comença a refredar-se abans.



Gràfica 4.04. 05 de juliol de 2011. Canal 2

Font: OMR

#### 4.5.2. COMPORTAMENT AL LLARG DE L'ANY.

Fins el moment aquesta estratègia d'emblanquinar s'ha mostrat molt efectiva per a l'estiu. Es possible que aquests avantatges aconseguits en les èpoques estivals siguin contraproductius en les èpoques fredes d'hivern?

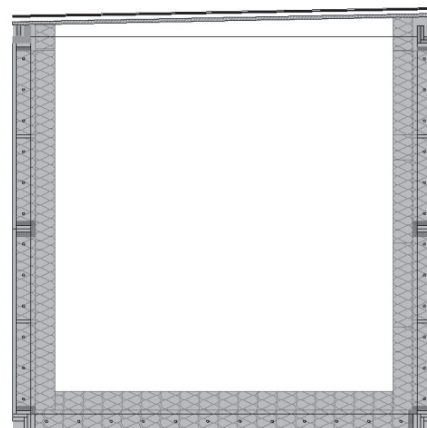
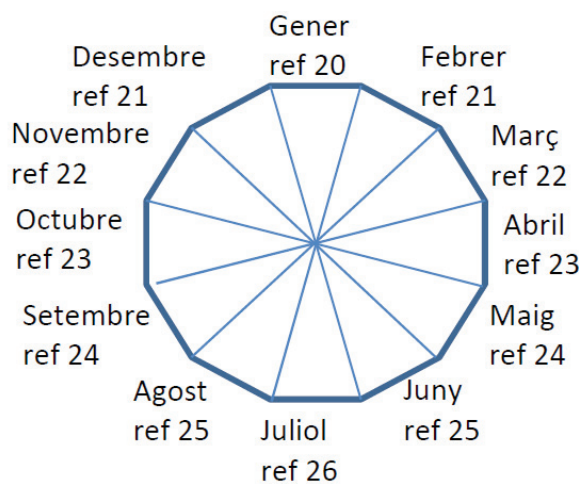
Per a donar resposta a aquesta qüestió s'han pres dades mensuals del canal 3 d'anys sencers.

Per poder comparar la temperatura interior (canal 3) amb una temperatura de consens o de referència que representés la temperatura de confort en cada època de l'any es proposa variar un grau cada més.

El que s'ha fet és variar un grau al mes al llarg de l'any, veure imatge 5.16.

Quan els valors de la diferència (canal 3 Tª int – temperatura de referència) són positius és que hi ha un sobrant de calor sobre la temperatura de referència i per tant caldria engegar algun sistema actiu de climatització per a refredar. I si surt negatiu és que hauríem d'escalfar amb un sistema actiu per arribar a la temperatura de referència. Veure imatge 5.16

En la taula 5.04 adjunta hi ha els sumatoris, dels primeres 10 mesos avaluats, de valors positius i negatius (sumatori dels graus dia a climatitzar), per a cada cel·la 0 i 1 i mes a mes:



Cn 3-Tref → A)>0 Extracció calor  
B)<0 Aportació calor

**Imatge:** 4.16.

**Font:** OMR

		març ref22	abril ref23	maig ref24	juny ref25	juliol ref26	agost ref25*	set ref24	oct ref23	nov ref22	des ref20
Cel.la 0. ceràmica	sumatori de graus per so- bre 0	16.0	1.005.0	828.5	8.078.4	4.929.4		5.792.1	913.7	0.0	0.0
	sumatori de graus per sota 0	-29.351.5	-13.710.4	-4.465.2	-4.920.0	-2.804.5		-3.450.5	-14.932.4	-12.539.1	-15.759.5
Cel.la 1. ceràmica blanca	sumatori de graus per so- bre 0	11.7	948.7	259.5	2.302.9	976.0		2.279.8	121.1	0.0	0.0
	sumatori de graus per sota 0	-29.571.6	-13.722.0	-6.403.7	-8.487.3	-5.848.7		-5.496.7	-17.909.4	-13.454.8	-16.506.8

Si considerem, que en el clima mediterrani, tenim tres grups de mesos: els freds, els càlids i els temperat, aproximadament diferenciant entre estacions, hivern, estiu, primavera i tardor:

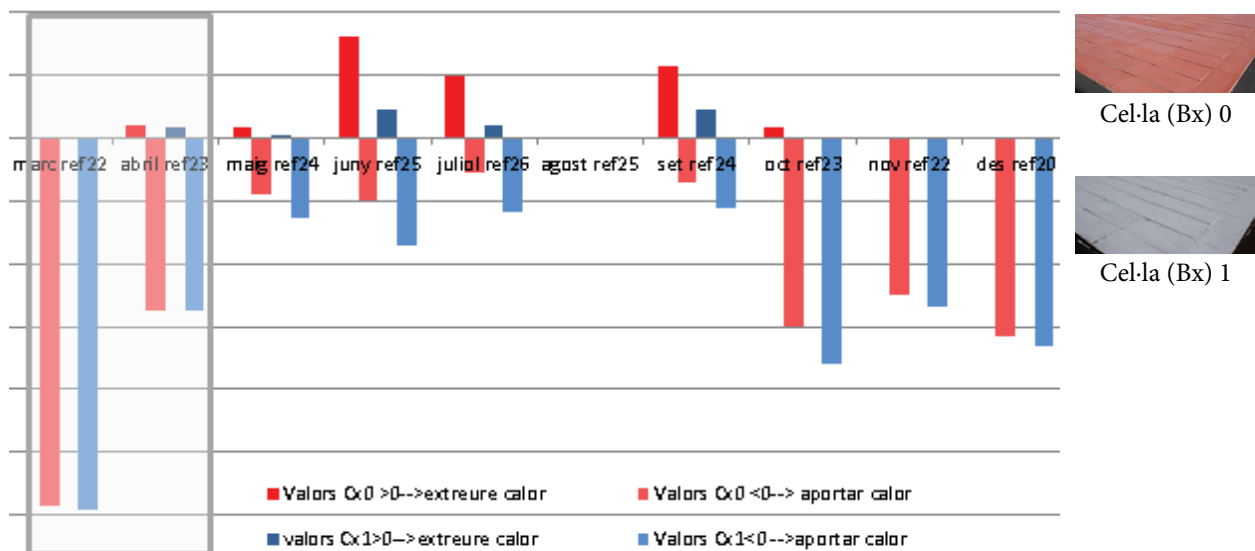
- En els mesos freds (hivern), el sumatori de graus dia a climatitzar negatius voldrà dir posar la calefacció.
- En els mesos càlids (estiu), el sumatori de graus dia a climatitzar positius, per sobre el que es defineix com a temperatura de confort o de referència, significaria activar la

refrigeració. Evidentment resultats negatius no serà activar calefacció, sinó millora del confort.

- En els mesos temperats (primavera i tardor), pot ser variable, però trobar-se lleugerament per sota o per sobre la temperatura que s'ha definit de referència, no vol pas dir que estiguis en desconfort.

La gràfica 4.05. mostra els sumatoris de graus en columnes, ordenades per mesos. D'aquesta gràfica cal destacar:

- Els mesos de març i abril, els resultats són pràcticament iguals per totes dues cel·les, doncs el material de revestiment de la cel·la 1 (ceràmica) encara no havia estat revestit amb la pintura blanca.
- Els sumatoris de graus de sobrants de calor són molt superiors (mesos d'estiu: de juny, juliol i setembre) en la cel·la 0 (ceràmica) que en la cel·la 1. O sigui, la temperatura a l'interior de la cel·la 1 serà durant més hores inferior o propera a la de referència.
- En canvi, la diferència en els mesos freds (novembre i desembre) indica que la temperatura a l'interior de la cel·la 0 serà superior. Cal observar, però, que les diferències entre les columnes als mesos d'estiu són forà superiors que als mesos d'hivern.



**Gràfica 4.05.**

L'estudi es va iniciar al més de març de 2011, per tant no es tenen dades dels mesos de gener i febrer 2011. Durant el més d'agost es varen perdre les dades de temperatura per una fallada dels data-loggers.

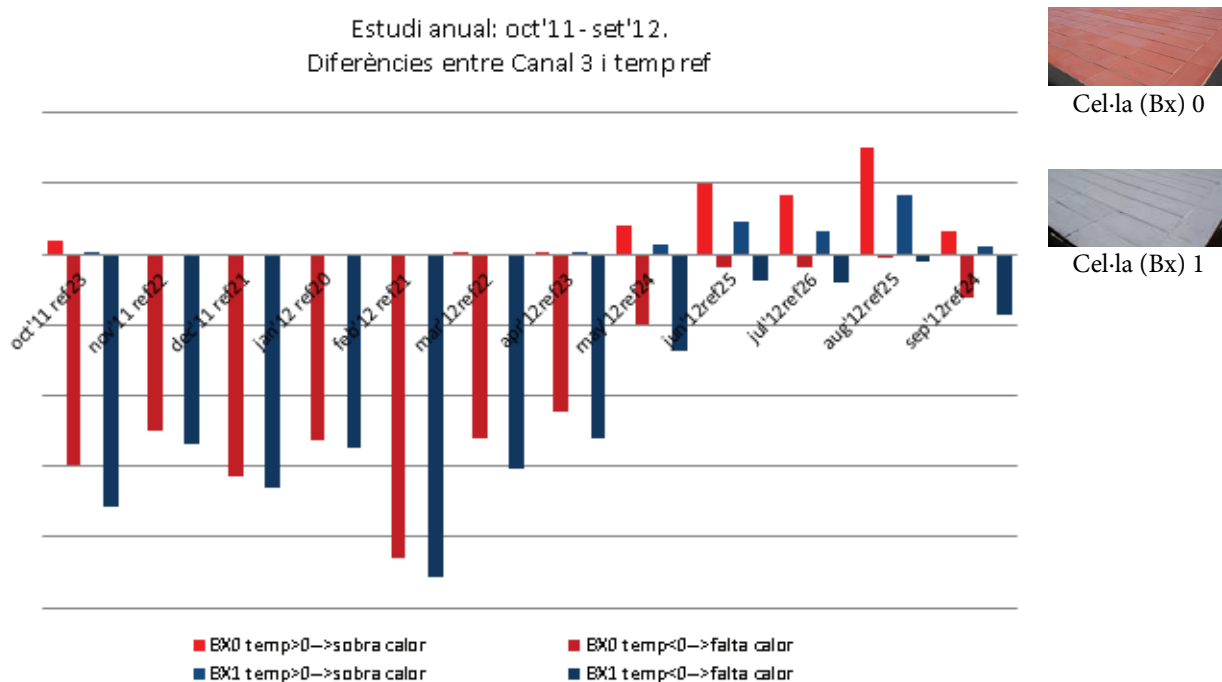
Font: OMR

Donat que en la primera gràfica 4.05 l'any no era complert i no es disposava de tot any, la mateixa gràfica és va repetir per un període anual sencer dels mesos d'octubre del 2011 al setembre 2012.

Els resultats obtinguts són pràcticament iguals en les gràfiques 4.05 i 4.06. A l'època calorosa les diferències positives (activar fred) són força altes i en canvi a l'hivern, les diferències negatives, pràcticament són iguals.

En les èpoques temperades es pot considerar que la majoria del temps estem per sota la temperatura que s'ha determinat de confort. Com ja s'ha dit això no significa haver d'activar la calefacció, sinó que en molts cassos pot voler dir un major confort. A més a més, en aquests cel·les no hi tenim cap càrrega interna (ni usuaris, ni aparells, ni radiació solar directe a través d'obertures...), que seria una aportació de calor addicional, la qual modificaria segur aquestes gràfiques.

Malgrat les diferències substancials que hi pugui haver entre les cel·les PAUS i un edifici real, es pot afirmar que aquesta estratègia és altament eficient a l'estiu, reduint de forma considerable la càrrega de fred a aportar, i en canvi no perjudica de forma substancial les condicions de confort a l'hivern, ni en fa augmentar la demanda tèrmica de calor.



Gràfica 4.06.

Font: OMR

És encertat parlar de la coberta fresca com a un aïllament termorefectant<sup>2</sup>. Aquest treballa (o s'activa) únicament a les hores diürnes quan hi incideix la radiació solar, però, en canvi no dificulta l'evacuació de calor en les hores nocturnes. És més, com que les cobertes fresques tenen un coefi-

2. Aquest terme és ja usat comercialment per companyies com Lotum, S.A. Impermeabilizaciones o Reveton pinturas



cient d'emissivitat alt –el SRI, paràmetre amb el qual es classifiquen les cobertes fresques al CRRC [5], és una equació amb dues variables: reflexió i emissivitat-, facilitarà la radiació de calor des de la coberta a l'espai.

Per altre costat, ens preguntàvem, en l'època estival, quantes hores al dia la temperatura es mantenia en la franja de confort (igual o inferior a 26°C) a l'interior de cada cel·la. Això ens permetria comparar en quin percentatge d'hores les cel·les “fresques” són millors que les convencionals.

Per a determinar-ho es calculen les hores en que la temperatura interior (canal 3) és inferior a la de confort (26°C), en la franja de 9 a 22,00hores. Aquesta operació es fa pels mesos de maig, juny, juliol i setembre any 2012 i per les cel·la 0 ceràmica, cel·la 1 ceràmica blanca, cel·la 2 formigó porós i cel·la 3 formigó porós blanc.

Tal i com es veu a la gràfica següent 4.07 aproximadament un 20% del temps, l'ambient interior de les cel·les 1 i 3 (ceràmica i formigó porós blanc) és millor que les a les 0 i 2 (ceràmica i formigó color natural).

Durant l'agost, aquests percentatge es inferior (hi ha menys hores a temperatura de confort -26°C- o inferior) i baixa fins al 5%, ja que és el mes amb temperatures atmosfèriques més altes. Evidentment aquestes hores es concentren en els moments de menys radiació solar.

De totes maneres cal tenir present que treballem amb models abstractes, sense cap altre mesura de control tèrmic (o d'aïllament) que el canvi cromàtic del revestit de coberta.



**Gràfica 4.07.** Percentatge de temps en temperatura de confort entre les 9,00 i les 22,00h durant l'estiu (maig, juny, juliol, agost i setembre) de 2012.

**Blau** - Percentatge amb temperatura igual o inferior a 26°C

**Vermell** - Percentatge de temperatura superiors a 26°C

Font: OMR

#### 4.5.3. PÈRDUA DE L'EFICIÈNCIA AL LLARG DEL TEMPS.

L'envelliment, la brutícia o la pol·lució, l'aparició de fongs... inevitablement modifiquen les superfícies de tots els materials de la construcció. En el cas de les cobertes planes, aquest fenomen es especialment important per la seva condició horitzontal exposats a la intempèrie. Aquesta patina, lògicament, reduirà la capacitat de reflectir l'energia solar incident, fins pot arribar a modificar el coeficient emissiu del material.

Per copsar aquests efectes, només és possible sotmetent els materials de revestiment a llargs períodes a sol i serena.

A més a més l'estudi es planteja la qüestió de com comparar o avaluar mostres testades en períodes de temps no coincidents. Podríem trobar alguna manera de comparar-los?

En aquest sentit s'ha detectat que els canvis de temperatura superficials de les mostres, venen determinades, sobretot, de la intensitat de la radiació solar. Les gràfiques següents intenten trobar una relació entre aquestes dues últimes variables.

L'experiment següent relaciona la irradiància amb la temperatura sup. interior (canal 2)

En aquestes gràfiques es representa un quadre de dispersió de punts que relacionen les dades d'irradiància solar i les dades de la sonda 2 (la que està situada a la cara inferior de la mostra). Es pren aquesta i no la sonda 1, per que hi ha materials que tenen una base poc o gens uniforme (grava blanca per exemple), i la temperatura superficial seria molt difícil de determinar. A més a més, com que la comparació és sempre entre el mateix material estudiat en períodes de temps diferents, característiques com la massa, rugositat... no influeixen, doncs es tracta del mateix material-

La gràfica generada per la dispersió de punts, ens permet obtenir una recta resultant.

El gràfic té en l'eix de les abscisses les temperatures i en el de les ordenades les irradiàncies. La interpretació és a partir de la pendent de la recta resultant. Com menor pendent (angle mesurat respecte les abscisses) tingui la recta, generada per la dispersió de punts, significa que amb petites variacions en la radiació solar, ràpidament assoleixen temperatures altes. I al revés, com major sigui la pendent significa que malgrat irradiàncies altes, la temperatura superficial inferior no augmenta significativament. Evidentment això serà degut, entre d'altres, a la reflexió i emissivitat del material.

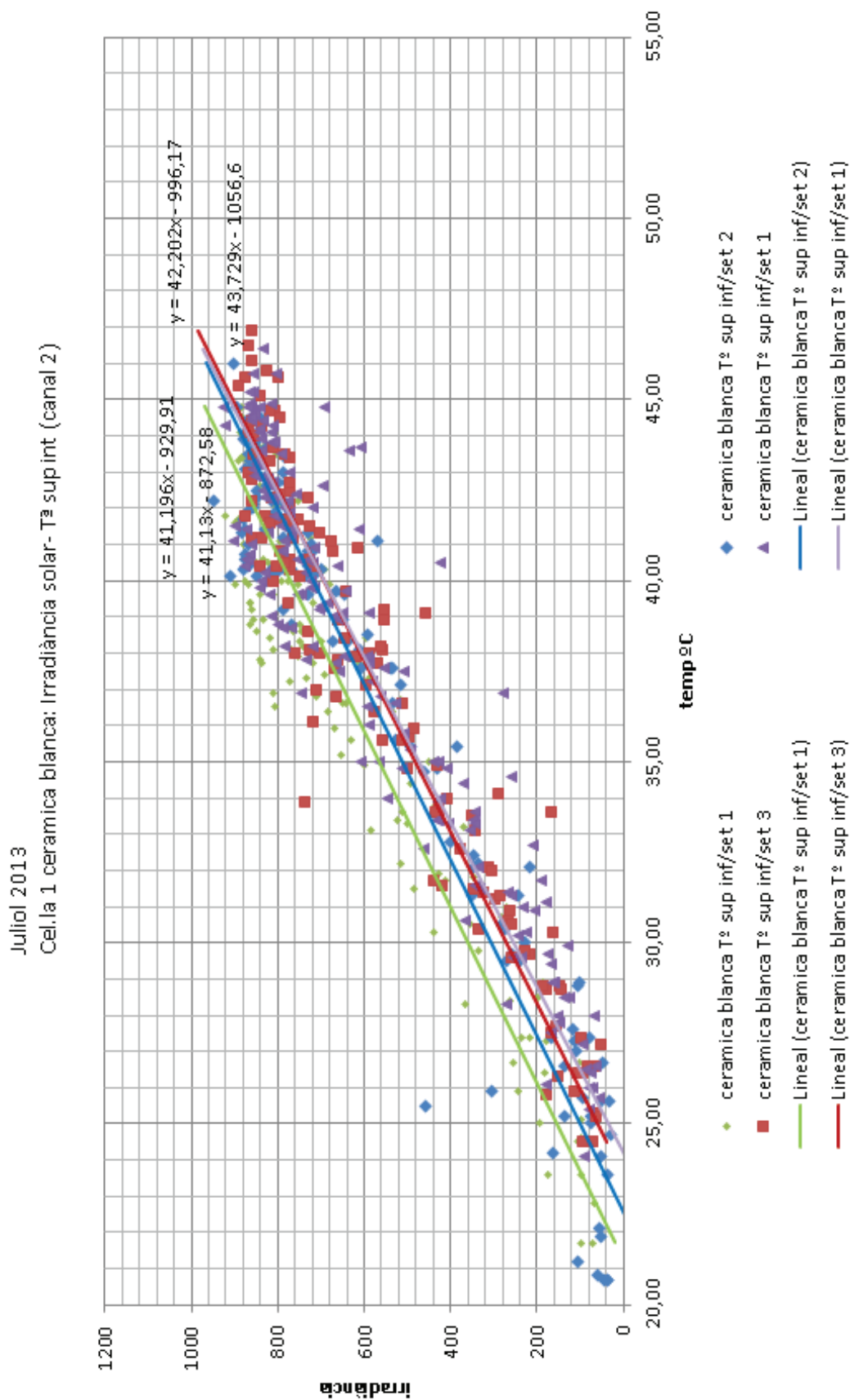
Ara bé, com garantim que la relació entre temperatura de la sonda 2 i irradiància es constant? Lògicament hi ha altres variables climàtiques (vent, precipitació, núvols...) que poden modificar les condicions de temperatura de les mostres. Lògicament, també la temperatura ambient exterior, pot influenciar i fer variar els resultats finals.

Un cop apuntades les possibles variables que ens poden incórrer a resultats erronis, es va procedir de la següent manera (gràfica 4.08). Actuant sobre la caixa 0 (ceràmica) es van aïllar temperatures obtingudes entre les 10,00h. i les 19,00h. (hores de sol) de quatre setmanes de juliol. Cada setmana es va representar amb una dispersió de punts. Si la hipòtesi és correcta, les quatre rectes resultants havien de ser aproximadament paral·leles.

A la gràfica 4.08 es pot apreciar com les rectes resultants de quatre setmanes del mes de juliol del 2013, són pràcticament paral·leles.

Amb aquest sistema podrem comparar el comportament de mostres del mateix revestiment però exposades en anys diferents: com més perdent perdi la recta resultant en un període, pitjor serà l'envelliment del material. O bé mostres diferents en moments temporals diferents.

A més a més obtenim un sistema totalment empíric, i basat únicament amb les temperatures, per determinar l'evolució de l'eficiència al llarg del temps d'un mateix material.



**Gràfica 4.08.** Relació irradiància cel·la 0.  
**Font:** OMR

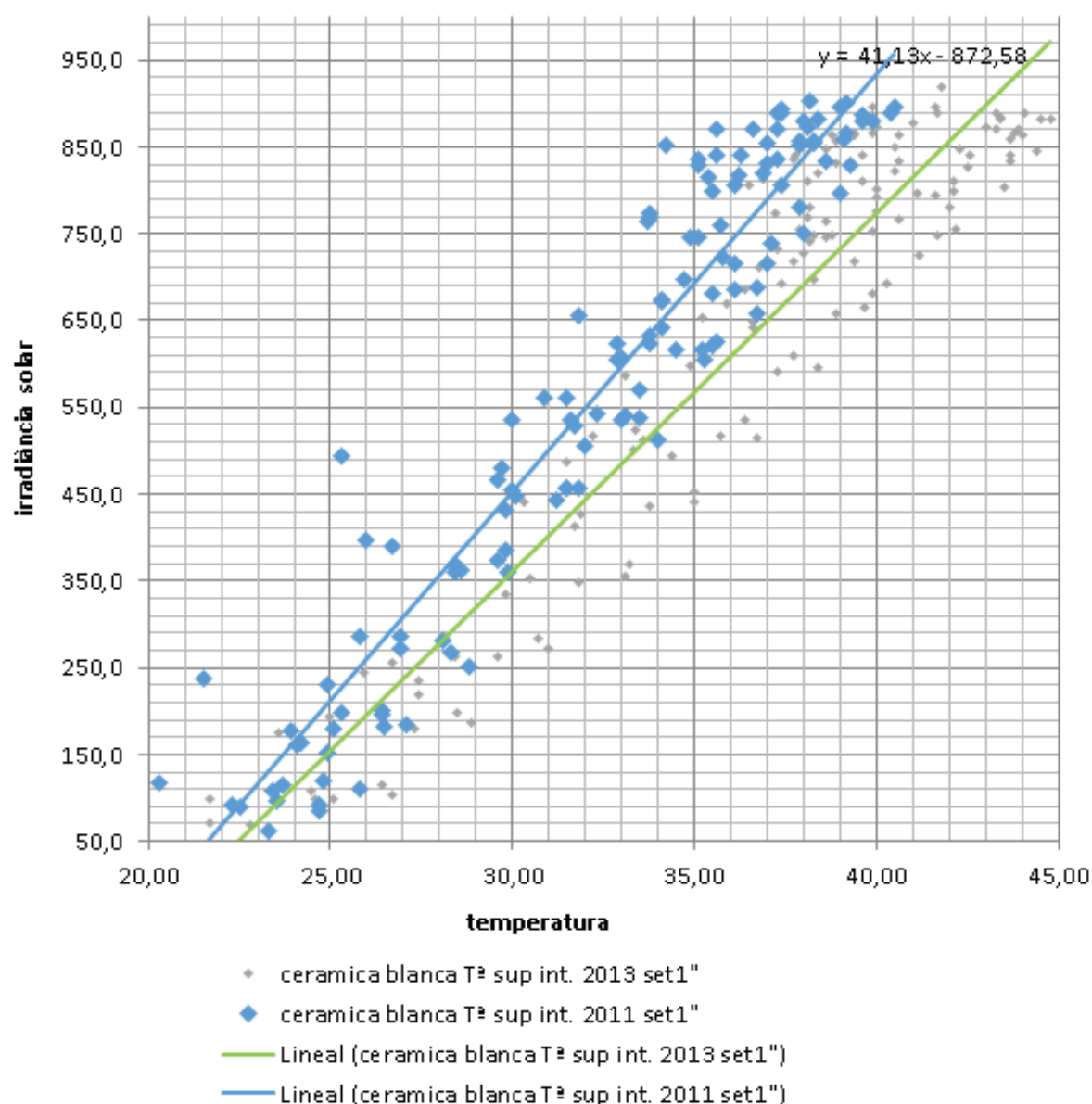
Als gràfica 4.09 s'exemplifica. En aquest s'ha relacionat les dades de temperatura i d'irradiància solar d'un mateix material entre dos períodes, amb dades obtingudes en dos anys de diferència (juliol 2011 i 2013). El material avaluat és la pintura blanca aplicada sobre la ceràmica. Aquesta a simple vista (fotos següents), ja es veu que s'ha degradat i que el blanc inicial, amb dos anys, s'ha convertit amb gris.



**Imatge 4.17.** Cel·la 1 (ceràmica blanca) juny 2011 i juliol 2013.

**Font:** OMR

juliol 2011 i 2013. Ceramica blanca\_Irradiància solar-T³ sup inf.



Pendents de les rectes pro mig per a cada setmana	Juliol '13	Pendent
Cel·la 1 any 2011	set-1	40.12
	set-2	39.57
	set-3	41.57
	set-4	37.18
Cel·la 1 any 2013	set-1	33.98
	set-2	33.33
	set-3	32.56
	set-4	31.96

Segons aquesta hipòtesi de pendents, com més pendent tingui la recta pro mig, significa que millor reflexa la radiació solar, ja que la temperatura del canal 2 serà més baixa.

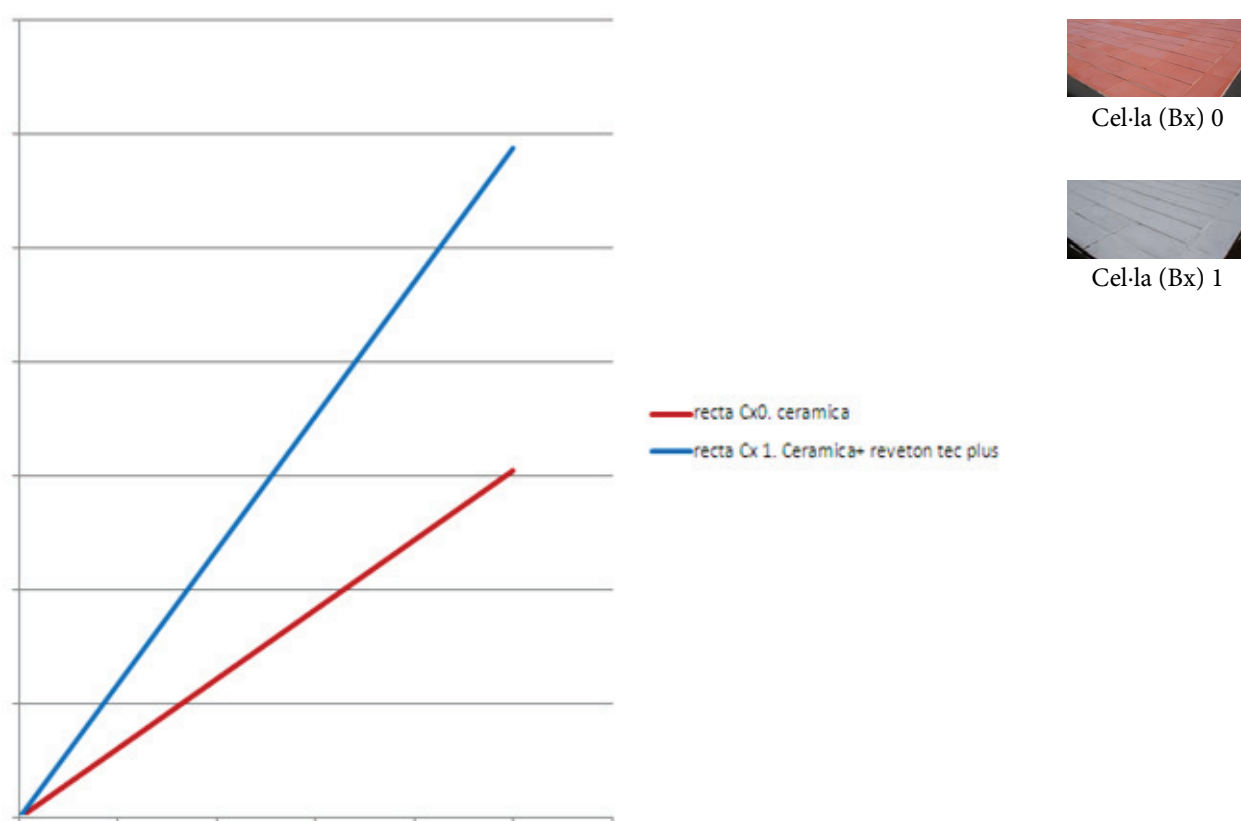
Les pendents de les Cel·la1 l'any 2011, eren superiors a les del 2013. O sigui, si la hipòtesi és bona, direm que , per el mateix acabat ha perdut efectivitat. (brutícia, desperfectes de la pintura...) , ja que més pendent, significa que les temperatures al canal 2 eren més baixes.

**Gràfica 4.09.** En la gràfica i el comparatiu de pendents mostren com les temperatures de la sonda 2 de dates 2011 són inferiors a les del 2013, per tant pendents superiors. O sigui més eficàcia inicial en la reflexió solar.  
**Font:** OMR



Si aquest mètode ens serveix per a comparar el mateix material en períodes diferents també ens pot donar una pauta per comparar materials diferents en períodes diferents.

Es més podríem arribar a obtenir un quadre on depenent de la pendent obtinguda entre irradiància i temperatura es pogués definir el grau d'eficiència per cada revestit d'acabat d'una coberta fresca del material. I conseqüentment obtenir una pauta per avaluar i definir si es tracta d'una coberta fresca o no i en quin grau.



**Gràfica 4.10.** Relació irradiància-temperatura per a dos materials de revestits de coberta diferents.  
Font: OMR

L'angle definit per la recta Cel·la 1-ceràmica amb pintura REVENTON TEC PLUS, recta blava-, es superior a l'angle definit per la recta Cel·la 0 -ceràmica, material de referència, recte vermella-. Així doncs, d'una forma empírica podem obtenir unes rectes abstractes que ens defineixen en quin grau un material de revestiment es comportarà com a una coberta fresca i en quina mesura.

El material de cel·la 1 (ceràmica blanca) té un comportament molt millor que el material de la cel·la 0 (ceràmica). Per tant es podria definir per exemple que: materials els quals la recta resultant tingui una pendent superior a la recta blava (o definir un angle concret), seran considerats com a cobertes fresques. Per sota la pendent de la recta vermella (o un angle concret), no podran ser considerats com a materials frescos.

Aquest mètode, per la seva senzillesa, es podria utilitzar en regions diferents i amb materials diferents que es tinguéssim documentades les temperatures i la radiació solar. Seria una forma de caracteritzar els materials (o fins i tot solucions constructives de cobertes) amb un sol paràmetre. Segurament un mètode més àgil i entenedor (sobretot pels diferents actors de la construcció) que dades com la reflectivitat o l'emissivitat.

A més a més, per la mesura de la reflectivitat i emissivitat de materials calen aparells sofisticats com els espectrofotòmetres. Malgrat tot, hi ha sistemes per a definir la reflectivitat o l'emissivitat, de baix cost [6], els quals han demostrat la seva validesa i precisió.

Aquest mètode de comparar i classificar els revestiments de cool roof té imprecisions que cal considerar:

1. No es té en compte el gruix, ni la massa de la peça. Tal com hem dit prenem la temperatura superficial inferior (canal 2). Aquestes característiques poden fer variar considerablement aquesta dada.
2. A més a més hi ha variables meteorològiques que no es tenen en compte: el vent, la pluja... i que poden ajudar a dissipar momentàniament la calor. De totes maneres, es podria limitar la humitat en la peça i en l'ambient o la velocitat del vent per validar les dades.

#### 4.5.4. ESTALVI ENERGÈTIC I ECONÒMIC

Per últim cal analitzar l'estalvi energètic i econòmic de la solució de coberta fresca. A aquest efecte s'han realitzat unes gràfiques on es comparen diferencials d'energia, de forma que es pugui quantificar en €.

Es tracta de plantejar la quantificació i en quin percentatge, es possible estalviar energia amb l'estratègia de modificar la reflexió dels acabats de coberta. El procés que s'ha seguit i les equacions emprades son simplificades si es considera que els càlculs poden arribar a ser molt més complexes.

Per tal d'abordar aquest aspecte, determinem quines variacions d'energia hi ha a l'interior de cada cel·la. En aquelles que l'acumulació de calor és superior, caldria un reforç extern (refrigeració) per tal de compensar el sobreescalfament. Per determinar quina quantitat d'energia hi ha inicialment a l'interior de cada cel·la seguim la següent hipòtesi:

Prentem la fórmula per la qual el diferencial d'energia tèrmica en un cos, és igual al diferencial de temperatura per la capacitat tèrmica del cos, tenim:

$$\Delta T = \Delta E / C_T \rightarrow \Delta E = \Delta T \cdot C_T$$

On:

$\Delta E$ : increment d'energia.

$\Delta T$ : increment de temperatura [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$C_T$ : capacitat tèrmica o capacitat calorífica =  $C_e[\text{J/kg}\cdot\text{K}] \times M[\text{kg}]$  (calor específic • massa)

Així la diferència entre els increments d'energia tèrmica de la caixa 0 i 1 serà la quantitat d'energia que caldria aportar en una o altre per dissipar la calor sobrant en regim d'estiu (refrigeració).

Per determinar la capacitat tèrmica de cada caixa prenem:

Material	Densitat	Calor específic	Volum	Total kcal/ $^{\circ}\text{C}$
Aigua	1.00 kg/l	1.00 Kcal/Kg $^{\circ}\text{C}$	30.00 lt	30.00
Aire	1.20 kg/m <sup>3</sup>	0.24 Kcal/Kg $^{\circ}\text{C}$	6.00 m <sup>3</sup>	1.73
Gutex [7]	100.00 kg/m <sup>3</sup>	0.50 Kcal/kg $^{\circ}\text{C}$	1.53 m <sup>3</sup>	76.50
Total capacitat tèrmica $C_T$ per cel·la				108.23

$$\Delta E = \Delta T (\text{entre la temp real interior i la temp de ref}) \times C_T$$

Com que les dades les prenem cada 15 min dividim  $C_T / 4$ . D'aquesta forma tindrem l'energia que cal aportar per cada hora.

Així, trobem l'energia per aconseguir la temperatura de referència (o la de confort) en cada caixa. La temperatura de confort, en règim d'estiu, es determina a 26 $^{\circ}\text{C}$ . Evidentment si suposéssim que es 25 $^{\circ}\text{C}$ , tal i com determina el RITE [8], l'energia estalviada seria superior.

Per tant fent el sumatori positiu d'aquest valors trobarem l'energia necessària que caldria extreure per refredar l'ambient interior fins a la temperatura de referència.

Les gràfiques s'han fet per dos materials de revestiment i en anys diferents (2011 i 2012).

La primera és per les cel·les 0 i 1, ceràmica i ceràmica blanca respectivament durant l'estiu del 2011. La segona per les cel·les 2 i 3, formigó porós i formigó porós blanc durant l'estiu del 2012.

Malgrat ja s'ha fet la descripció exhaustiva de les cel·les PAUS Cal recordar que aquestes dades son les obtingudes en les cel·les test, no amb edificis reals, amb una coberta que únicament està

formada per un taulell de fusta, la membrana impermeable, sense cap tipus d'aïllament i les rajoles ceràmiques: cella 0, ceràmica natural i cel.la 1 pintada amb REVETON TEC PLUS. Per tant, els resultats obtinguts no seran extrapolables directament a qualsevol construcció.

Per tal d'entendre les dades de les taules 5.05 i 5.06 a continuació es descriuen tots els conceptes que es detallen en les taules:

Paràmetre	Descripció
T <sup>a</sup> ref	Temperatura de referència. Fixada pel doctorand en 26°C
Cel·la 0(KWh)	Sumatori de valors positius (quan la temperatura interior de la cel.la és superior a la de referència) obtinguts de la fórmula: $(T^a \text{ canal3} - T^a \text{ ref. } 26^\circ\text{C}) \cdot (CT / 4^*)$
Cel·la 1(KWh)	*Dividit per 4 per que tenim valors de temperatura cada 15 minuts
Estalvi net (KWh tèrmics)	Diferència entre els valors obtinguts per a les dues cel·les comparades
% Estalvi	Percentatge d'estalvi
Estalvi net COP3 (KWh elèctrics)	Estalvi en energia elèctrica suposant un COP (coeficient of performance, coeficiente de operatividad, rendimiento) de 3.
Estalvi net €/KWh=0,138	Producte de l'estalvi d'energia elèctrica per el preu de l'energia (0,138 €/KWh)
Estalvi emissions de CO <sub>2</sub> (297 gCO <sub>2</sub> -eq.) [9] en gr. (any 2009)	Producte de l'energia elèctrica estalviada per el mòdul de 297 gCO <sub>2</sub> -eq. Cal remarcar que segons la font de l'energia elèctrica la diferència entre la produïda i la finalment consumida pot arribar a ser el doble, el que faria també augmentar l'estalvi en emissions de CO <sub>2</sub> .

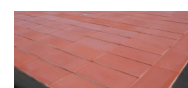
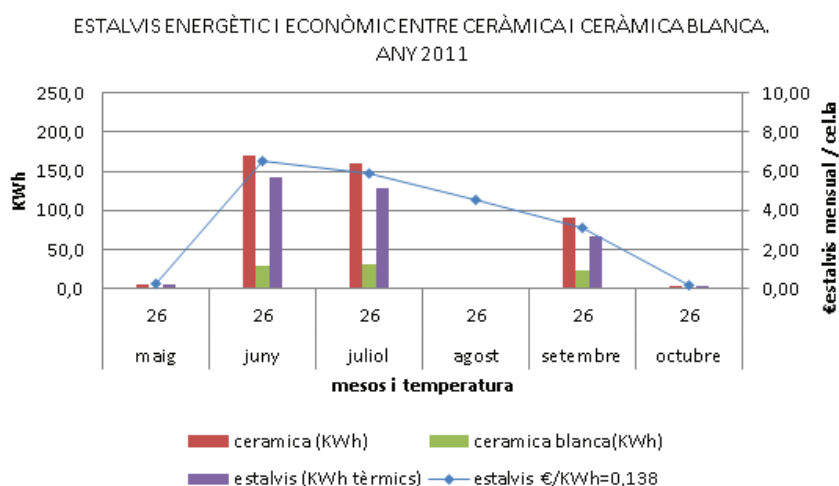
Per a les cel·les 0 i 1 els valors els podem veure a la taula següent:

	Maig	Juny	Juliol	Agost	Setembre	Octubre	Totals	inc. Agost
T° ref	26	26	26	26	26	26		
Cel·la 0(KWh)	6,21	170,66	160,01		90,66	3,44	430,99	
Cel·la 1(KWh)	0,18	29,30	31,68		23,07	0,00	84,23	
Estalvi net (KWh tèrmics)	6,03	141,36	128,33	0,00	67,59	3,44	346,75	
% Estalvi	2,93	17,17	19,80		25,44	0,00	19,54	
Estalvi net COP3 (KWh elèctrics)	2,01	47,12	42,78	32,65	22,53	1,15	148,24	39,01
Estalvi net €/KWh=0,138 <sup>3</sup>	0,28	6,50	5,90	4,51	3,11	0,16	20,46	20,46
Estalvi emissions de CO <sub>2</sub> (297 gCO <sub>2</sub> -eq.) en gr. (any 2009)	597,08	13.994,65	12.704,41	9.698,14	6.691,88	340,64	44.026,78	
La superfície de cada cel·la és de 3,80m <sup>2</sup>								

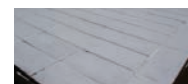
**Taula 4.05.** (\*Els valors en vermell són la mitjana aritmètica dels mesos de juliol i setembre, ja que les dades del més d'Agost es varen perdre per un error del data-logger)

Font: OMR

Per poder realitzar una interpretació gràfica (gràfica 4.11) d'aquestes dades s'han ordenat els valors energètics en columnes, referenciades a la ordenada de l'esquerra. Els valors econòmics es mostren en una línia de, referenciada a les ordenada de la dreta. Els mesos i temperatura de referència queden definits a la abscissa.



Cel·la (Bx) 0



Cel·la (Bx) 1

**Gràfica 4.11.** Estalvis d'energia elèctrica i econòmics per a la cel·la 0 i 1 durant l'any 2011

Font: OMR

3. Valor del KWh promig de la font: <http://comparadorluz.com/faq/precio-kwh-electricidad#precio-kwh-domesticos>

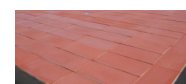
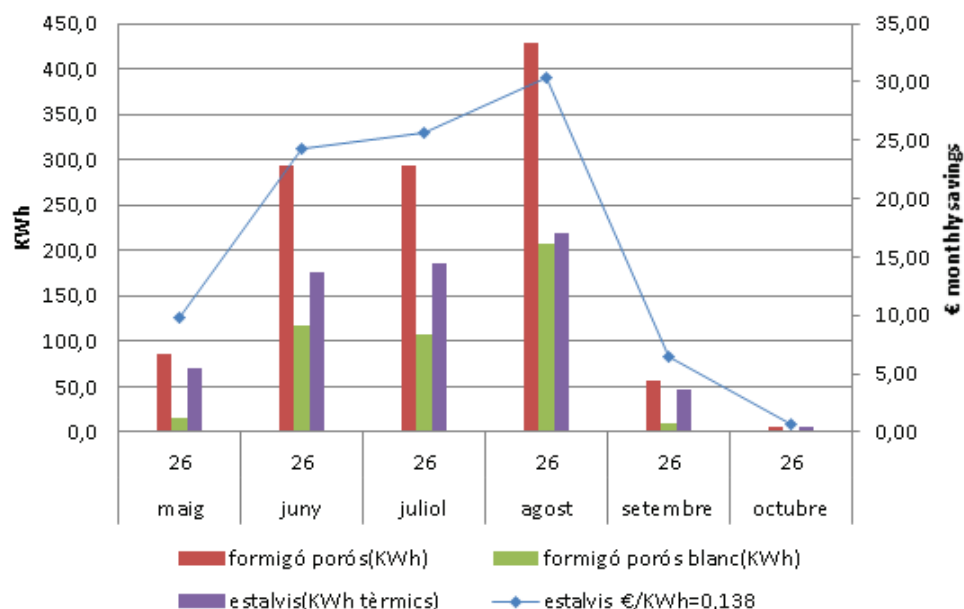
Les dades obtingudes en la cel·la 2, formigó porós gris i cel·la 3 formigó porós blanc, durant l'estiu de 2012. Es presenten seguint el mateix patró anterior en la taula 5.06 i la gràfica 4.12

	Maig	Juny	Juliol	Agost	Setembre	Octubre	Totals	Total anual
T <sup>a</sup> ref	26	26	26	26	26	26		
Bx 2(KWh)	86.76	293.53	293.99	428.12	56.25	5.25	1.163.89	
Bx 3(KWh)	15.64	117.07	107.78	208.18	9.92	0.00	458.58	
Estalvi net (KWh tèrmics)	71.12	176.46	186.21	219.95	46.33	5.25	705.31	
% Estalvi	18.02%	39.88%	36.66%	48.63%	17.63%	0.00%	39.40%	
Estalvi net COP3 (KWh elèctrics)	23.71	58.82	62.07	<b>73.32</b>	15.44	1.75	235.10	61.87
Estalvi net €/KWh=0,138	9.81	24.35	25.70	<b>30.35</b>	6.39	0.72	97.33	25.61
Estalvi emissions de CO <sub>2</sub> (297 gCO <sub>2</sub> -eq.) en gr.	7.040.89	17.469.15	18.434.76	21.774.56	4.586.99	519.45	69.825.80	

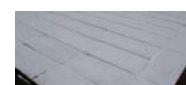
**Taula 5.06.**

**Font:** OMR

ESTALVIS ENERGÈTIC I ECONÒMIC CENTRE FORMIGÓ PORÓS I FORMIGÓ  
PORÓS BLANC. ANY 2012



Cel·la (Bx) 0



Cel·la (Bx) 1

**Gràfica 4.12.** Estalvis d'energia elèctrica i econòmics per a la cel·la 2 i 3 durant l'any 2012

**Font:** OMR

Tal i com es pot veure comparant les dues últimes gràfiques, els estalvis energètics i econòmics de l'any 2011 són gairebé la meitat que els del 2012. Les gràfiques d'un i altre anys, són fetes amb materials diferents; any 2011 ceràmica i 2012 formigó porós. Això evidentment dóna diferències, però el que segur ha influenciat, ha estat la climatologia d'un i altre any. Als resums anuals de l'AMET [10], i concretament sobre el més de juliol d'aquests dos anys diuen:

- Juliol 2011: “temperatura media mensual sobre España fue de 23, 3° C por lo quedó sólo 0,1° C por debajo del valor medio del mes. No obstante fue el mes de julio menos cálido desde el año 2002.”
- Juliol 2012: “Julio ha sido en conjunto algo más cálido de lo normal, con una temperatura media mensual de 23,9° C, valor que supera en 0,5° C al normal de este mes”...” la franja costera mediterránea desde Cataluña al este de Andalucía, ... julio ha sido más cálido de lo normal con temperaturas medias mensuales que han superado en alrededor de 1° C al valor medio normal”

Així doncs és comprensible que els valors d'estalvi siguin superiors en l'any 2012 que en el 2011.

I més enllà de les variacions meteorològiques d'un o altre any, **el que es clarament representat en les gràfiques i les taules anteriors, és la eficiència de l'estratègia de les cobertes fresques en l'àmbit geogràfic en que s'ha estudiat (Sant Cugat- Barcelona). Per tan, la implementació d'aquest tipus de cobertes representaria un estalvi energètic i econòmic important.**

(\*Per tal de no interrompre la lectura, els càlculs de la massa tèrmica de les cel·les i de les transmissibilitats s'ha adjuntat en l'Annex 1)



## REFERÈNCIES:

- [1] «<http://www.biohaus.es/productos/gutex.php>,» [En línia].
- [2] «[http://www.biohaus.es/productos/sistemas\\_estanqueidad.php](http://www.biohaus.es/productos/sistemas_estanqueidad.php),» [En línia].
- [3] «<http://www.ceramicascalaf.com/>,» [En línia].
- [4] «<http://www.ceramicascalaf.com/producto/rasilla-2a-serie-barcelona/>,» [En línia].
- [5] «<http://coolroofs.org/> <http://coolroofs.org/documents/PressRelease8-SRIFINAL.pdf>,» [En línia].
- [6] K. & R. M. Dornelles, «A Method to Identify the Solar Absorptance of Opaque Surfaces with a Low-cost Spectrometer,» PLEA2006 - The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland, 6-8 September 2006.
- [7] «<http://www.biohaus.es/pdf/GUTEXThermosafehomogen.pdf>,» [En línia].
- [8] «<http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reglamento/RDecreto-1027-2007-Consolidado-9092013.pdf>,» Capítol II. Punto: IT 1.1.4.1.2. Temperatura operativa y humedad relativa. [En línia].
- [9] A. Pagès-Ramon i Cuchí, A. (director)., «Caracterització del sector de l'edificació des del punt de vista de les emissions de gasos d'efecte hivernacle.,» Tesi doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya, Departament de Construccions Arquitectòniques I.
- [10] «<http://www.aemet.es>,» Agència estatal de meteorologia . [En línia].





## **CAPÍTOL 5: CAMPANYA DE PRESA DE DADES SOBRE CEL·LES PAUS. ESTADI 2**

### **5.1. IMPACTE DE LA GEOMETRIA/ PIGMENTS EN ELS MATERIALS A TESTAR. MATERIALS A TESTAR.**

La primera fase de la campanya sobre les cel·les PAUS, es va centrar en caracteritzar el material de referència, la rajola ceràmica natural, contrastar-lo amb la llosa de formigó porós i amb els seus homòlegs emblanquinats. En paral·lel s'ha anat generant coneixement del seu comportament al llarg d'un any i s'estudia com pateix la degradació del seu comportament com a cool roof que provoquen els agents externs.

En aquesta segona etapa, les modificacions que s'han executat sobre les mostres de diferents materials de revestiment han estat d'altra naturalesa:

- La primera ha estat utilitzant revestiments amb pigments “freds” (aquests són els que reflexen sobretot les longituds d'ona que pertanyen a l'infraroig proper, banda de la radiació que aporta més calor sobre l'objecte incident). Veure imatges 5.01 i 5.02
- La segona ha estat modificar la geometria o el relleu del propi revestiment de la coberta, de forma que es puguin provocar petites cambres d'aire ventilades o be jocs d'ombres mútues que protegeixin part del revestiment respecte la radiació solar.

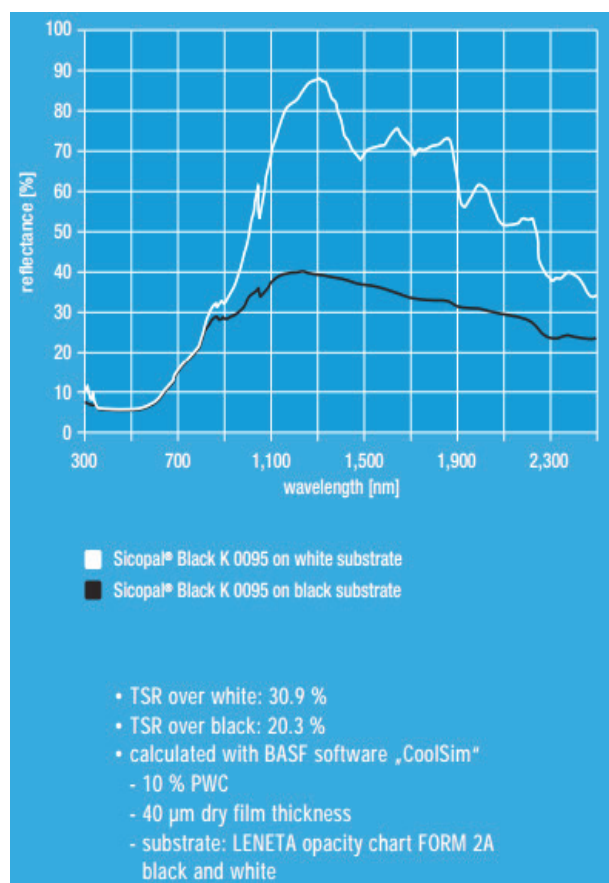


**Imatge 5.01:** Ceràmica esmaltada amb pigment freds.

**Font:** OMR

Per aplicar els pigments es van acordar un pacte entre les empreses CERAMICAS CALAF i BASF. Els primers oferien la superfície que els segons revestirien amb els seus pigments freds (imatge 5.01). La mostra formada a partir dels pigments freds esmaltats sobre una ceràmica, tal i com es veu a la fotografia, és eminentment fosca. Això és degut al color del pigment, el qual és molt fosc. Aquest ha estat l'objectiu principal de BASF, aconseguir un pigment que, malgrat ser fosc, s'escalfi molt menys que un altre amb el mateix color però sense la propietat de reflectir l'infraroig proper. (veure les propietats en la imatge 5.02)

Aquest to cromàtic té dues justificacions. La primera de caire tècnic; el pigment que es va utilitzar, Sicopal® Black K 0095 d'origen inorgànic, és l'únic de la sèrie de BASF, capaç de no perdre les seves propietats amb les altes temperatures que ha de suportar per a ser fixat amb esmalt sobre la peça ceràmica. La segona, més subjectiva; provar si realment una peça tan fosca tenia un comportament com a coberta fresca semblant a una ceràmica sense revestiment o a una peça de formigó porós.



**Imatge 5.02:** Corbes de reflexió de revestiments fets amb pigment Sicopal® Black K 0095 sobre una base blanca i una negra per a un mateix gruix.

**Font:** BASF SE. [www.basf.com/pigment](http://www.basf.com/pigment)

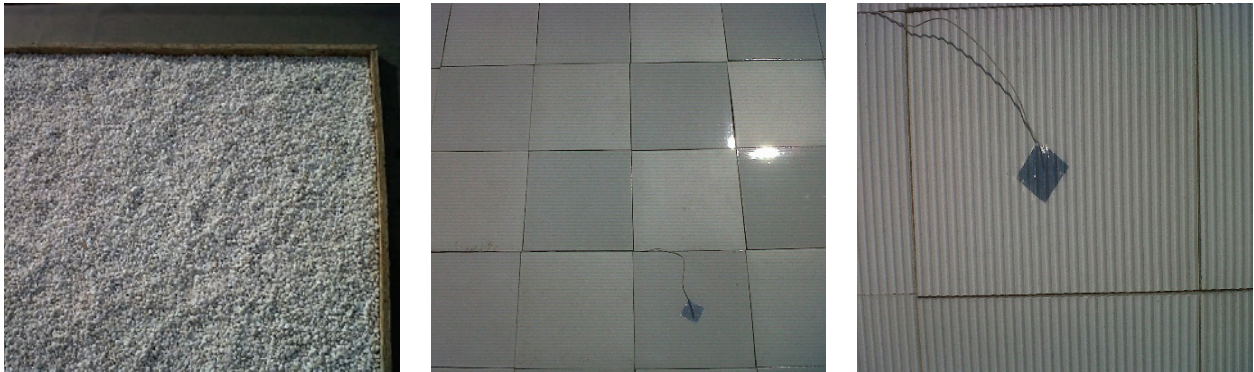
El bon comportament o no com a cool roof dels revestiments, no només depèn del pigment. També hi juga un paper important, el gruix de pigment que es diposita a la superfície i el color del substrat que els sustenta. La imatge 5.02 mostra quin grau de reflexió podem arribar a obtenir si el pigment és aplicat sobre una base blanca o negra.

Aquesta mostra es va situar sobre la cel·la número 4. La mostra es va col·locar al novembre de 2011 i es van prendre dades fins al mes de març de 2014.

El segon conjunt de proves s'han basat en modificar la textura superficial de les diferents mostres avaluades. Els materials amb que s'ha treballat han estat la grava blanca (provinent de restes de marbre blanc), rajoles esmaltades llises i rajoles esmaltades amb un relleu en ziga zaga <sup>1</sup> superficial (veure imatge 5.03). Aquestes dues últimes subministrades per l'empresa CERÀMICA CUMELLA <sup>2</sup>.

<sup>1</sup> CERAMICAS CUMELLA va optar a subministrar aquest model de ceràmica per la rehabilitació del ALBERT MUSEUM a Londres, obra de l'arquitecte Amanda Levete. AL-A architects. London. L'avaluació realitzada durant aquesta investigació ha estat cedida a Toni Cumella com a part de la documentació del producte.

<sup>2</sup> <http://www.cumella.cat/home.htm>



**Imatge 5.03.** Grava blanca, ceràmica esmaltada llisa i ceràmica esmaltada texturitzada.

**Font:** OMR

La grava blanca és de marbre (adquirida en un garden) d'entre 2-3 cm de diàmetre. Aquesta mostra es va situar en la cel·la 5 i es va testar del setembre 2012 al setembre 2014.

Les dues mostres de CERAMICAS CUMELLA, són de ceràmica clara (o sigui la base sobre la que s'esmaltava no té el color ataronjat de l'argila, sinó un color blanquinós) i un esmalt blanc. En tots dos cassos es combinen peces brillants i mates. (veure imatge 5.03, fila inferior)

La mostra llisa es va situar en la cel·la número 2 i hi va estar del juny 2013 al setembre 2014.

Les peces amb relleu de ziga zaga es va col·locar a la cel·la 3. Donada que la seva superfície no es homogènia i l'efecte pot variar si la radicació va paral·lela o perpendicular, durant el període juny 2014 al abril 2014 les ranures van estar orientades est-oest i des d'abril 2014 a setembre 2014 es van girar i estaven nord-sud

El treball comparatiu entre les peces de CERAMICAS CUMELLA i la grava pretenia estudiar si aquesta "rugositat" de la superfícies de la peça de revestiment, genera:

- Augment de la superfície de contacte aire-revestiment i per tant increment de la capacitat d'alliberar calor
- Crear ombres pròpies que mantinguin una part de la superfície de revestiment lliure de la radiació solar directe.
- En el cas de la grava, quin efecte podrien tenir les micro càmeres ventilades que es generen entre cada una de les peces de grava.

Així, la proposta pretén comprovar empíricament si augmentant la superfícies de contacte amb l'aire circumdant, com s'aconsegueix amb les peces de la ceràmica texturitzada i la grava, també augmentarà la capacitat d'alliberar calor i, conseqüentment, la peça es refredarà abans.

En el cas de les peces de ceràmica, és fàcilment comparable, ja que es relativament senzill mesurar la superfície de la peça llisa i de la peça amb ziga-zaga.

Una major superfície relativa (coeficient de rugositat Ra) d'un objecte de revestiment pot augmentar la quantitat de calor que s'allibera?

I com pot afectar la textura o la rugositat (entesa com el quocient entre l'àrea real i l'àrea aparent). Com major és el factor de rugositat major serà la transmissió de calor per convecció superficial?

Als dibuixos es representa una secció de les peces de ceràmica blanca texturitzada (A) i plana (B)



A- Long sup. 1000x amplada

B- Long sup. 700x amplada

$$Q_{emessa} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A_s \cdot T_s^4$$

On:

$Q$  : flux de calor

$\varepsilon$  : emissivitat

$\sigma$ :  $5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$  (constant d' Stefan-Boltzmann)

$A_s$  : àrea superficial de l'objecte

$T_s$  : temperatura superficial de l'objecte

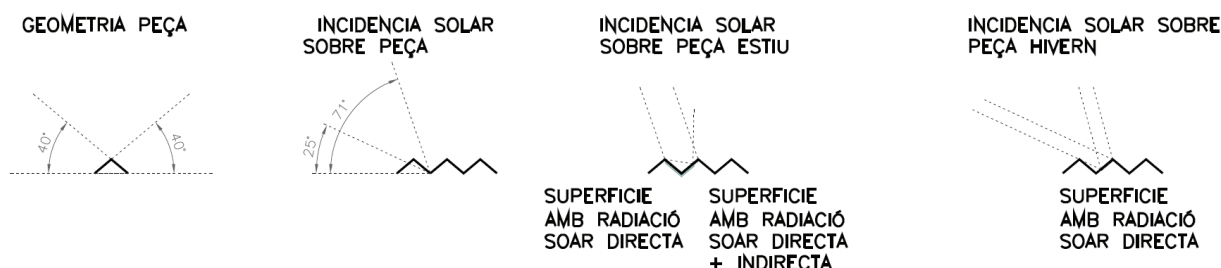
Si l'únic valor que es modifica és la geometria de la superfície de l'objecte, en aquest cas el flux de calor emès serà 1,42 vegades major?

A més a més, aquesta geometria associada a la rugositat, permet treballar també les ombres que la pròpia peça es provoca. Per tant semblava molt interessant i s'esperaven resultats força diferents, si es modificava l'orientació (rotant sobre si mateixa 90°) de les acanaladores superficials.

En la primera prova es va orientar les estries de la peça de ceràmica orientant-les est-oest. En la imatge 5.04, es representa com, a l'època estival la peça rep radiació tan directa i reflectida. En canvi a l'hivern, només una part de la peça rep radiació directa. Estàriem doncs en una mala orientació, ja que la peça acaba rebent molt més percentatge de radiació els mesos d'estiu que a l'hivern.

En la següent campanya es giraren les peces 90 graus (orientació de les estries nord-sud), de forma que, en les primeres hores del dia de l'estiu (orientacions est i oest) la pròpia peça es fes ombra sobre ella mateixa.





**Imatge 5.04:** Estudi incidència solar de les peces rugoses de CERAMICAS CUMELLA  
**Font:** OMR

## 5.2. ANÀLISI DE RESULTATS:

L'anàlisi es presenta en dos conjunts de resultats. El primer (punt 5.2.1) relaciona els materials estudiats anteriorment (ceràmica i formigó porós, en versió natural i blanca) amb el nou material sorgit d'esmarlar amb pigments freds de BASF una rajola ceràmica.

La segona part (punt 5.2.2) es treballa amb les dades obtingudes en les medicions que s'han fet sobre els materials, en els quals hem modificat la seva geometria superficial.

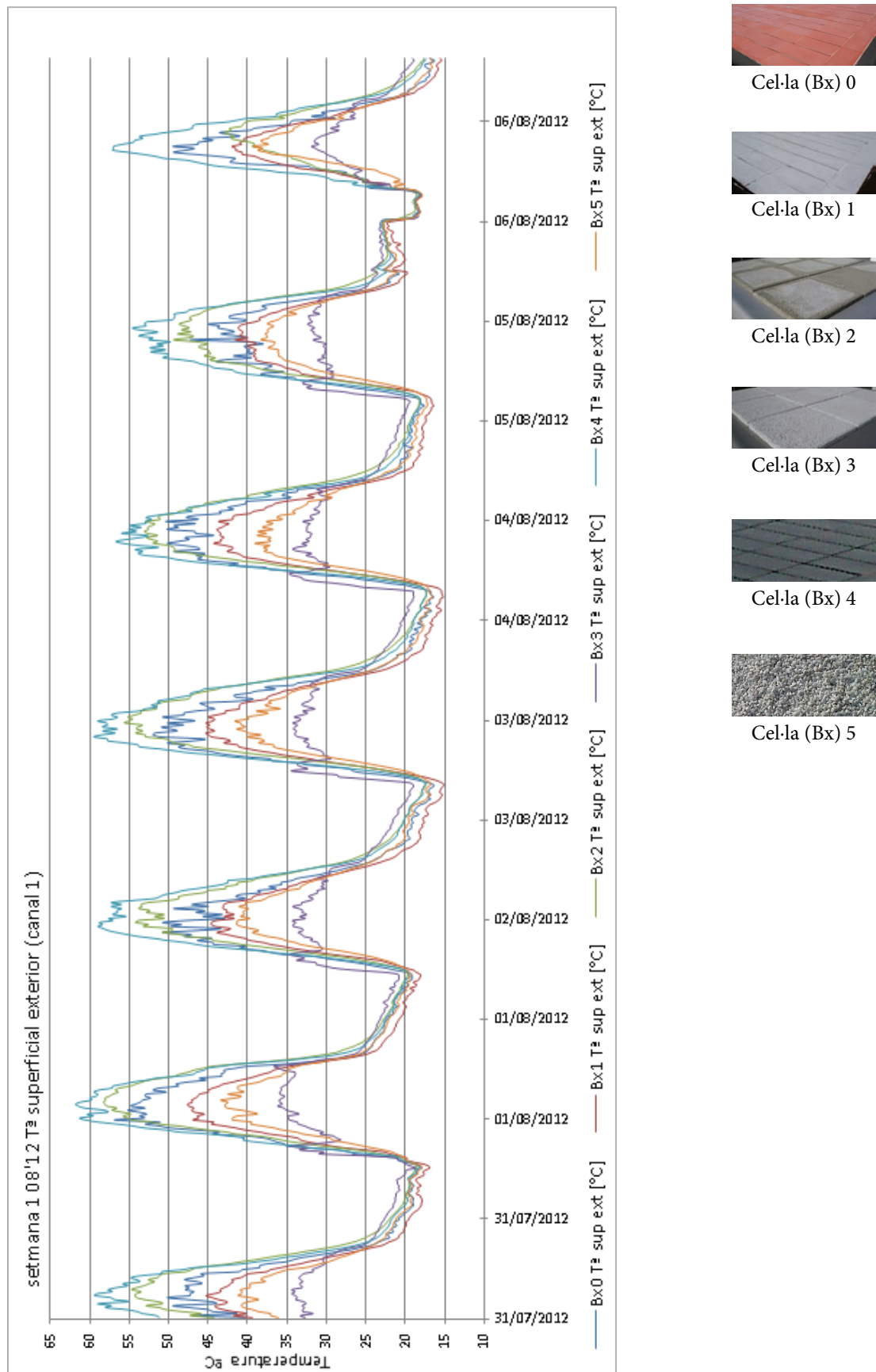
### 5.2.1. PIGMENTS FREDS

En aquest primer punt es compara la ceràmica esmaltada, la qual hem posat a la cel·la num. 4, amb tots els altres materials de revestiments de coberta de les altres cel·les. Els materials amb els que es treballa i la situació que tenen és:

- Cel·la 0: ceràmica vermella (natural)
- Cel·la 1: ceràmica blanca (pintat amb pintura blanca REVETON TEC PLUS)
- Cel·la 2: formigó porós (llosa FILTRÓN natural)
- Cel·la 3: formigó porós blanc (llosa FILTRON blanca)
- Cel·la 4: ceràmica esmaltada amb pigments BASF
- Cel·la 5: grava blanca natural.

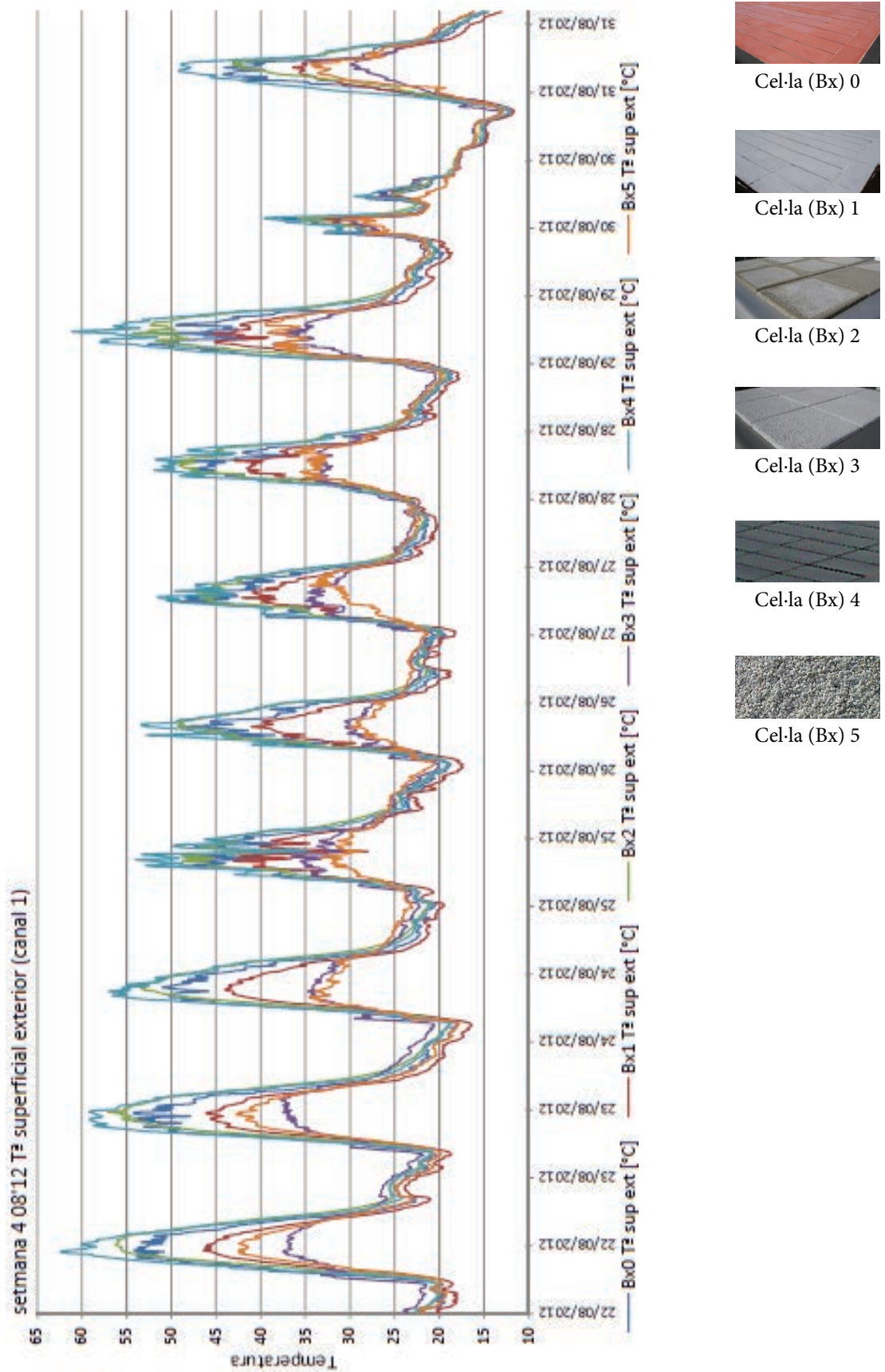
La forma de procedir, ha estat, comparant les temperatures de les sondes 1 (superficial), 2 (sota el material d'acabat de coberta) i 3 (interior de la cel·la). En primers estadis es fa amb períodes d'una setmana. Les gràfiques amb dades tèrmiques d'una setmana no ens ofereixen informació detallada, però si una visió de conjunt. Posteriorment s'han realitzat gràfiques focalitzades en dies concrets. Finalment, es componen gràfiques que ajudin a interpretar i complementin l'explicació de les conclusions a que s'ha pogut arribar.

Les gràfiques s'han realitzat amb dades recollides durant l'agost 2012 i en aquestes es compararan les dades de temperatura recollides per les sondes 1, 2 i 3. Ens focalitzem en la primera i quarta setmana del més d'agost ja que eren les més representatives.



Gràfic 5.01. 1ª setmana d'agost, sonda Tª superficial exterior.

Font: OMR

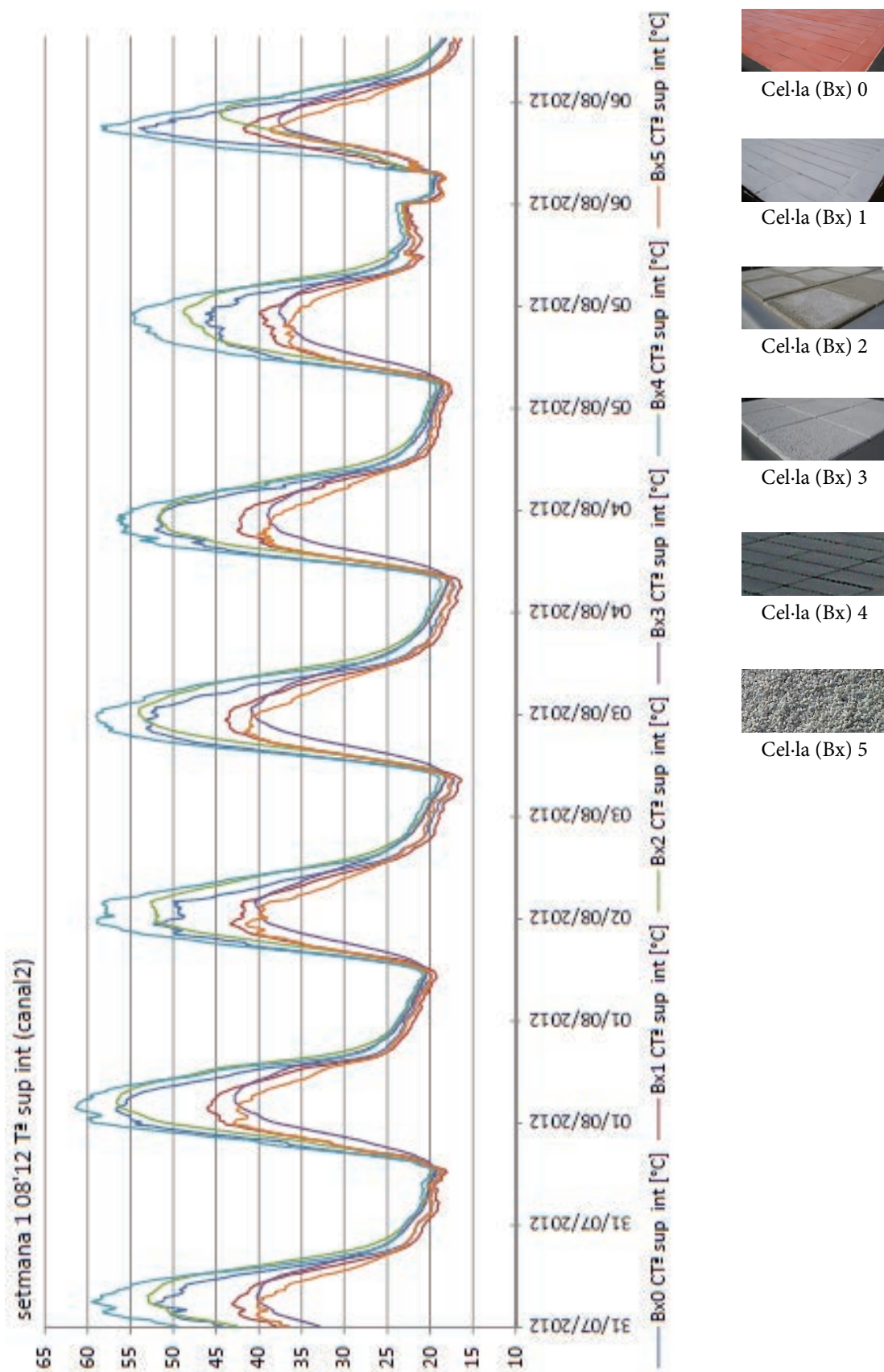


**Gràfic 5.02.** 4ª setmana d'agost, Tª superficial exterior (sonda 1)  
**Font:** OMR

A les gràfiques anteriors (5.01 i 5.02) es pot veure com el material que més s'escalfa és justament la ceràmica esmaltada, seguit pel formigó porós i la ceràmica vermella. Entre els materials que menys s'escalfen hi ha la ceràmica blanca, formigó blanc i la grava blanca. Aquesta última no podem assegurar que sigui la que millor funciona, ja que es molt difícil i poc fiable mesurar la temperatura superficial en un material amorf. Això queda palès en les dades dels inicis de la setmana 4, on s'inverteix i el formigó porós blanc s'escalfa menys que la grava.

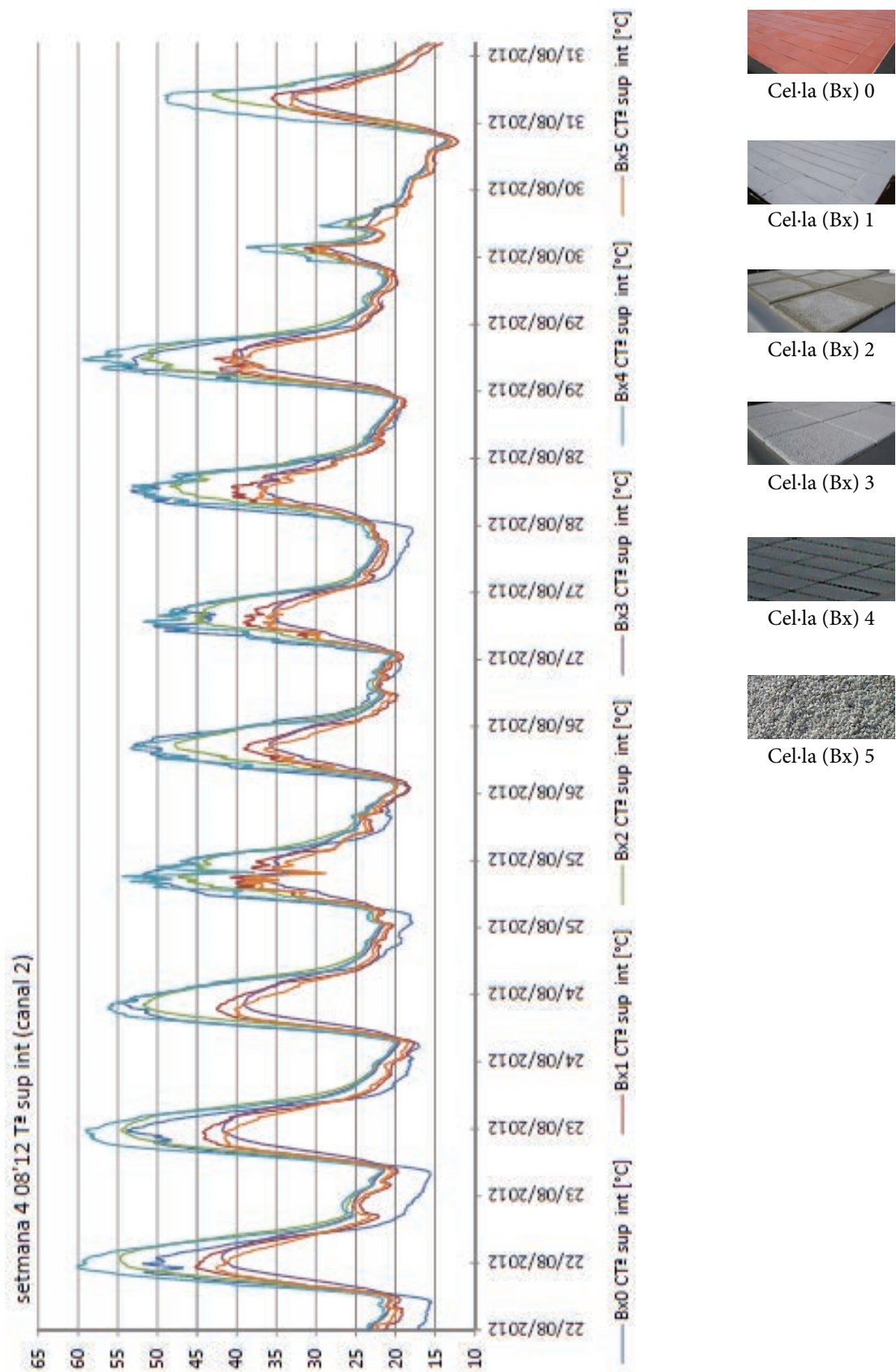
D'aquestes gràfiques es detecta que superficialment la ceràmica vermella, malgrat no tenir un tractament especial, aconsegueix escalfar-se menys que la ceràmica esmaltada amb pigments BASE.

Exactament el mateix comportament tenim en les sondes 2 i 3 en les gràfiques es mostra el comportament en les setmanes 1<sup>a</sup> i 4<sup>a</sup>.



Gràfica 5.03. 1ª setmana d'agost, Tª sup. int. (canal 2)  
Font: OMR



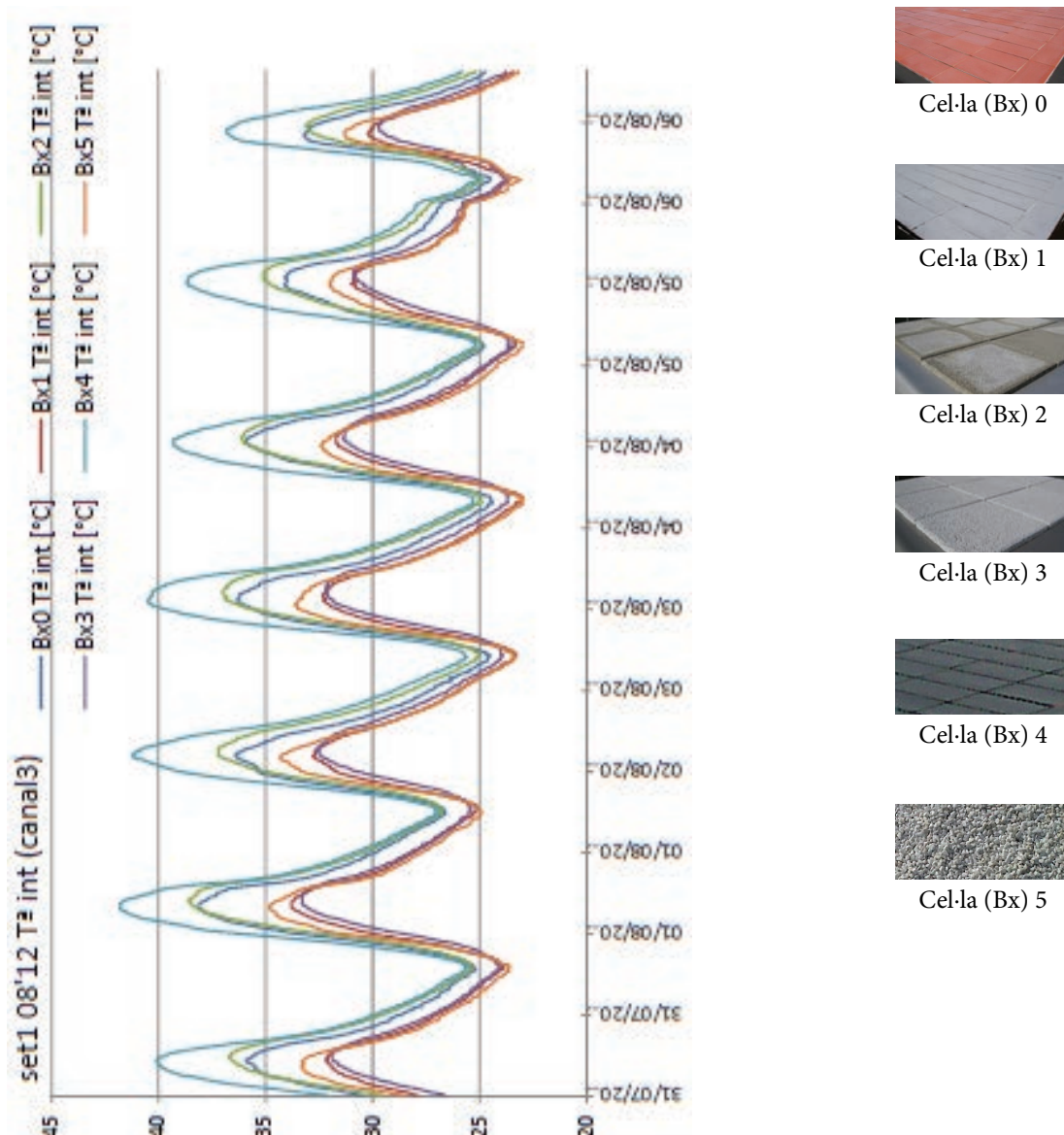


Gràfica 5.04. 4ª setmana d'agost, Tª sup. int. (canal 2)  
Font: OMR

Tal i com es veu, la tendència és la mateixa que amb la sonda 1 (gràfica 5.03). Hi ha dos grups de 3 corbes (cel·les 0, 2 i 4 -ceràmica, formigó porós i ceràmica esmalt BASF-, les quals s'escalfen molt- especialment la cel·la 4-, i cel·les 1, 3 i 5 -ceràmica REVETO, formigó porós blanc i grava-, que es mantenen a temperatures inferiors). Aquestes només s'apropen a tenir un comportament semblant quan no hi ha radiació solar, com va ser el cas del dia 30 d'agost.

De totes maneres no deixa de ser sorprenent que hi ha diferències de fins a 30 °C entre els canals de  $T^a$  superficial exterior i 20°C entre els canals de  $T^a$  superfícies interiors.

Aquestes diferències, a l'interior de les cel·les (canal 3 - $T^a$  int) no són tan exagerades, i oscil·len entre 5-7°C. (veure gràfica 5.05)

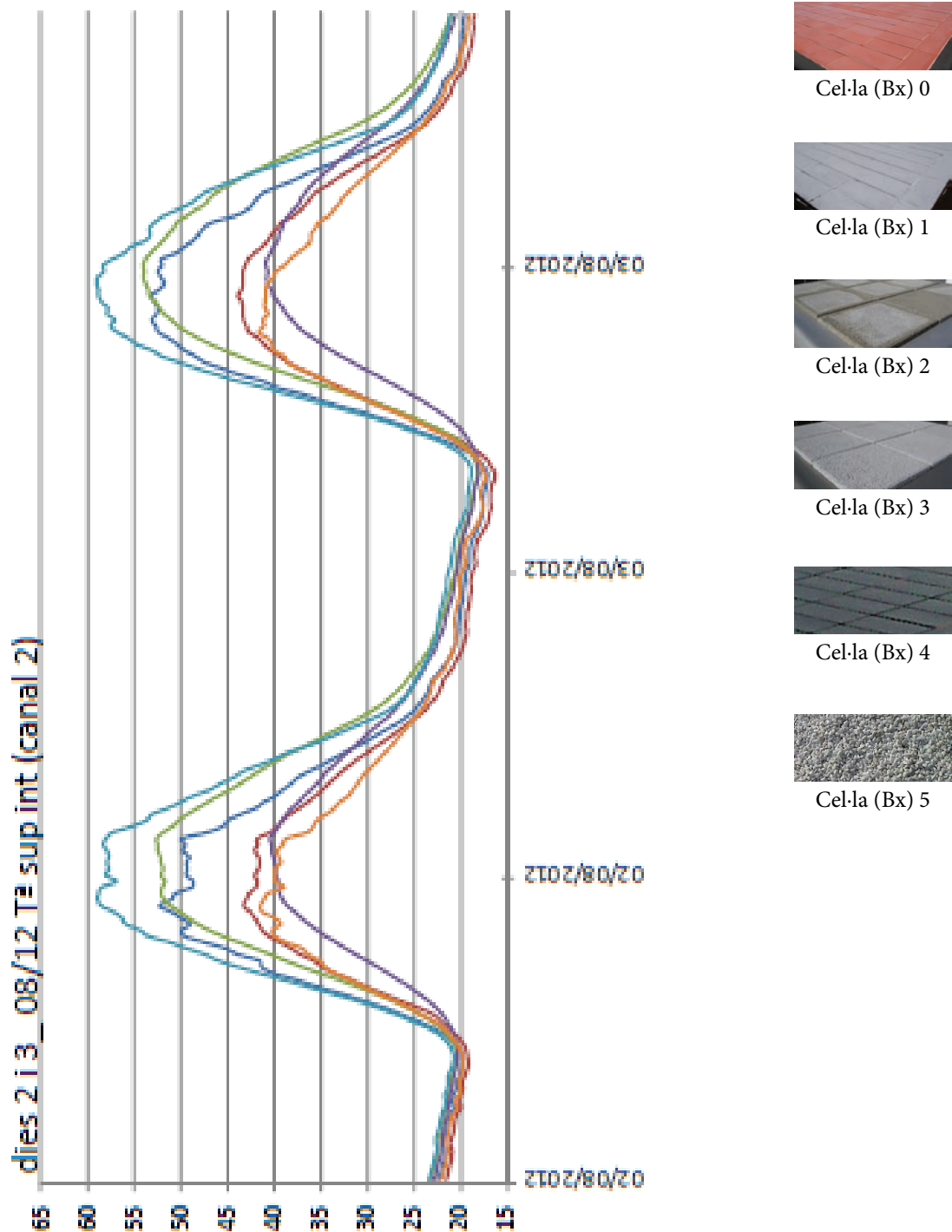


**Gràfica 5.05.** 1ª setmana d'agost, (canal 3)

Font: OMR



Per avaluar com s'escalfen i es refreden els materials, s'ha fet un zoom d'un parell de dies (2 i 3 d'agost). La gràfica és realitzada amb els canals 2 -T<sup>a</sup> sup inf- i 3 -T<sup>a</sup> int-, ja que, tal i com s'ha dit anteriorment, les temperatures superficials d'un material amorf granular, degut a les micro càmeres d'aire ventilades, es difícil considerar una temperatura superficial exterior.

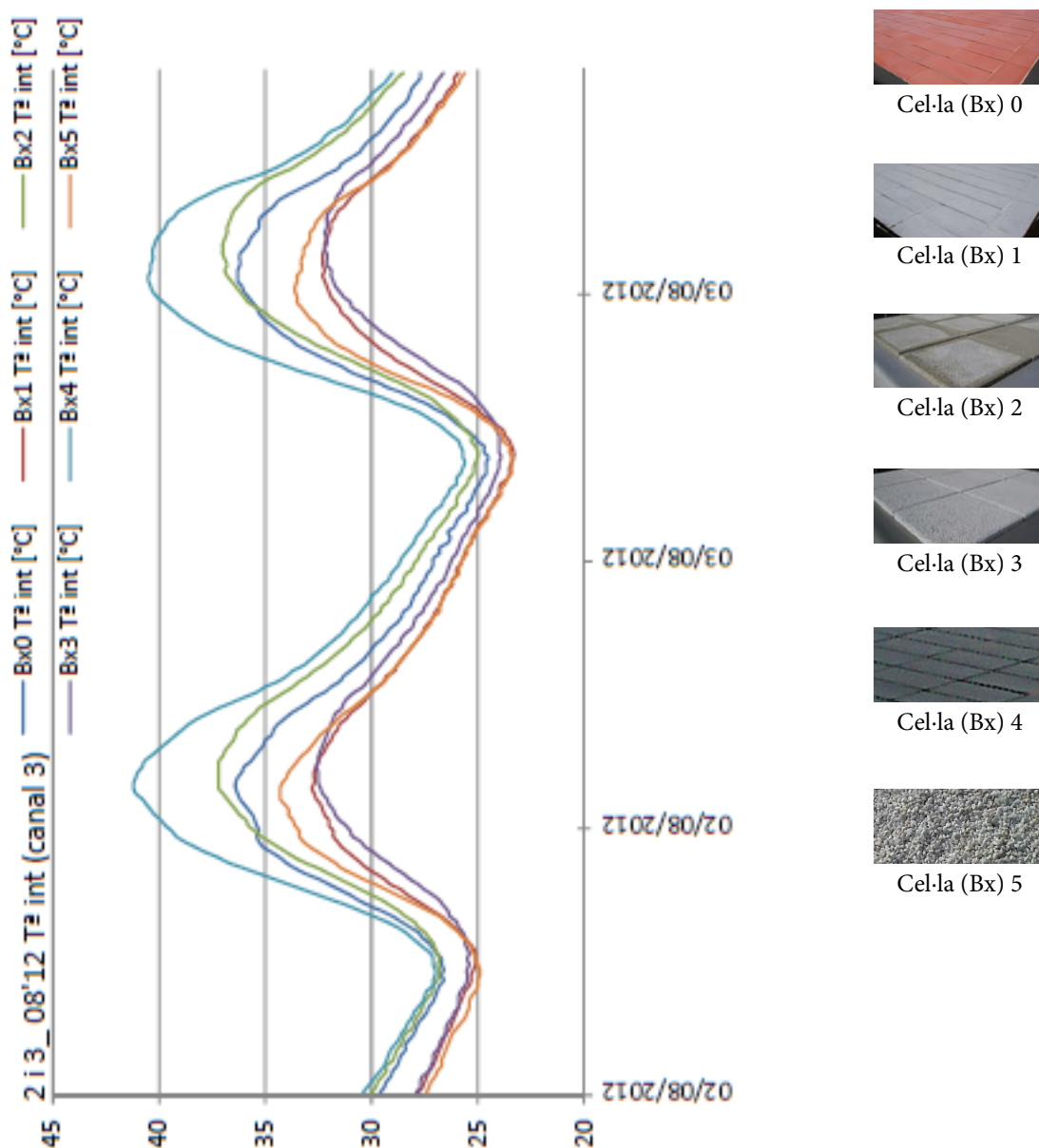


Gràfica 5.06. dies 2 i 3 d'agost, T<sup>a</sup> sup. int. (canal 2)

Font: OMR

A la gràfica 5.06 es pot veure com la cel·la 4 (pigments BASF) es refreda més ràpidament que la 2 (formigó porós). Això és degut a la major massa i capacitat d'emmagatzemar de calor del formigó porós respecte una rajola. L'efecte contrari (escalfament de la mostra) queda molt ben reflectit al moment del dia amb més radiació, de totes les corbes, n'hi ha un parell que tenen el punt d'inflexió lleugerament desplaçat cap a la dreta, són les corbes corresponents a les mostres de formigó, i aquest desplaçament ve donat per la major capacitat tèrmica de les mostres.

De totes maneres l'interior de la cel·la de la rajola esmaltada no arriba a refrescar-se més que la de la rajola vermella en el moment del dia que més fredes estan totes les mostres. (gràfica 5.07)



Gràfica 5.07. dies 2 i 3 d'agost, T<sup>a</sup> interior (canal 3)

Font: OMR

Referent a aquesta gràfica 5.07, formades amb dades de temperatura preses a l'interior de les cel·les es pot observar un cert paral·lelisme entre totes les corbes. Cal destacar però la rapidesa amb que es refreda i s'escalfa la caixa 5 (graves blanques).

Com a conclusió d'aquest apartat, i per a tenir una idea global més clara, la taula 5.01 aporta uns percentatges de cada material respecte el material de referència (Ceràmica, cel·la 0). Aquests, són sobre el sumatori de temperatures d'un període que va del 31/07/12 al 03/09/12.

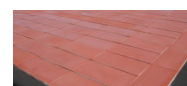
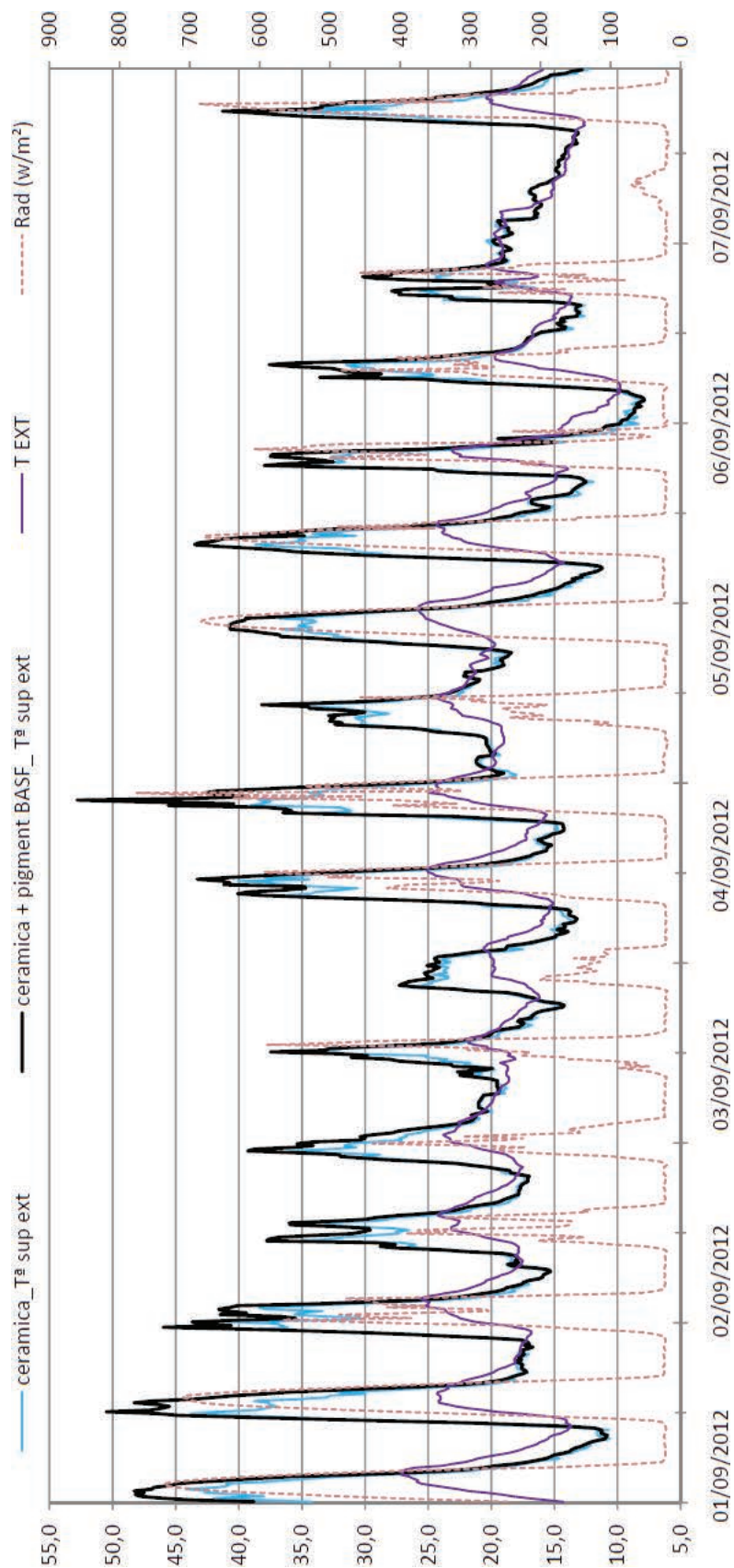
			% cerà- mica / ceràmica blanca	% cerà- mica/ formigó porós	% cerà- mica/ formigó porós blanc	% cerà- mica/ ceràmica BASF	% cerà- mica/ grava blanca
31/07/2012	03/09/2012	24h	-8.70%	1.05%	-8.41%	5.55%	-7.40%
31/07/2012	03/09/2012	10,00 a 20,00h	-11.08%	1.00%	-11.46%	7.96%	-8.17%

**Taula 5.01.** Percentatges respecte material de referència –ceràmica-  
**Font:** OMR

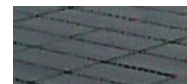
Aquests percentatges s'han calculat per a tot el dia (24h) i per un període d'hores diàries (10,00 a 20,00). Quan no es computen les hores nocturnes, les diferències són majors, menys en el cas del formigó porós degut a la major inèrcia. La grava blanca té un percentatge de millora inferior que els altre materials, tal i com es veurà més endavant, es degut a la facilitat que té per alliberar calor en les hores nocturnes.

Fins ara, les comparacions han estat entre totes les mostres. A partir d'aquest punt s'analitza el material de referència (cel·la 0, rajola vermella de CERAMICAS CALAF) amb la rajola esmaltada (cel·la 5, pigments BASF) i amb dades climàtiques de temperatura i radiació solar. Les comparatives s'han fet amb dades de temperatura i radiació recollides durant el més de setembre de 2012.

A la gràfica 5.08 s'aprecia com les màximes temperatures de la sonda 1 (sonda superficial) coincideixen amb les hores del dia amb més intensitat de radiació solar, i que aquestes poden arribar a ser fins a 30°C superiors a la temperatura ambient. Però en canvi, en les hores nocturnes, i en concret per la sonda 1 –T<sup>a</sup> sup. ext.-, la corba de la cel·la 4 (pigments BASF) arriba fins a temperatures inferiors a la temperatura ambient.



Cel·la (Bx) 0



Cel·la (Bx) 4

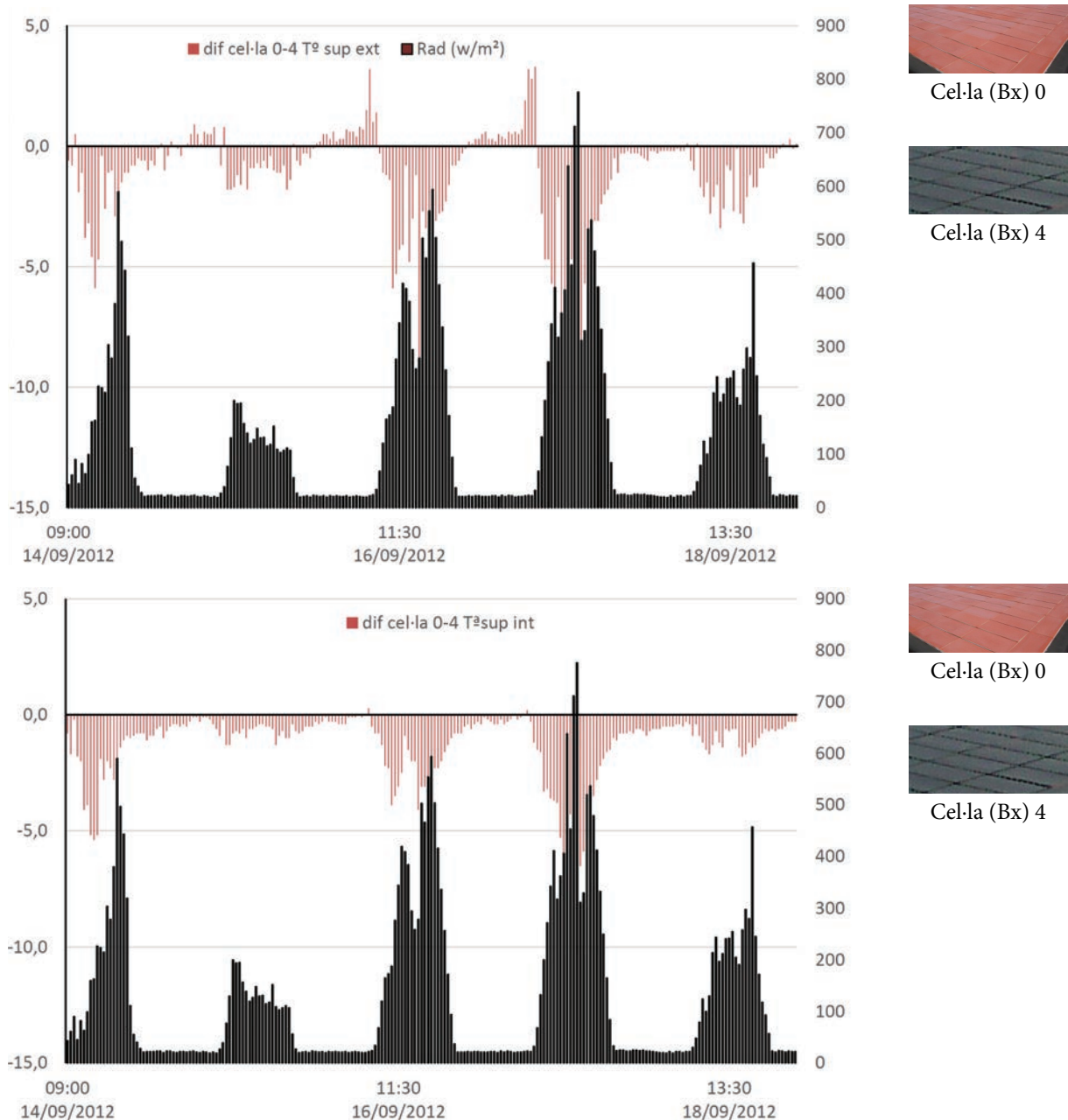
Gràfica 5.08. 1ª setmana setembre 2012, Tª sup. ext. (canal 1)

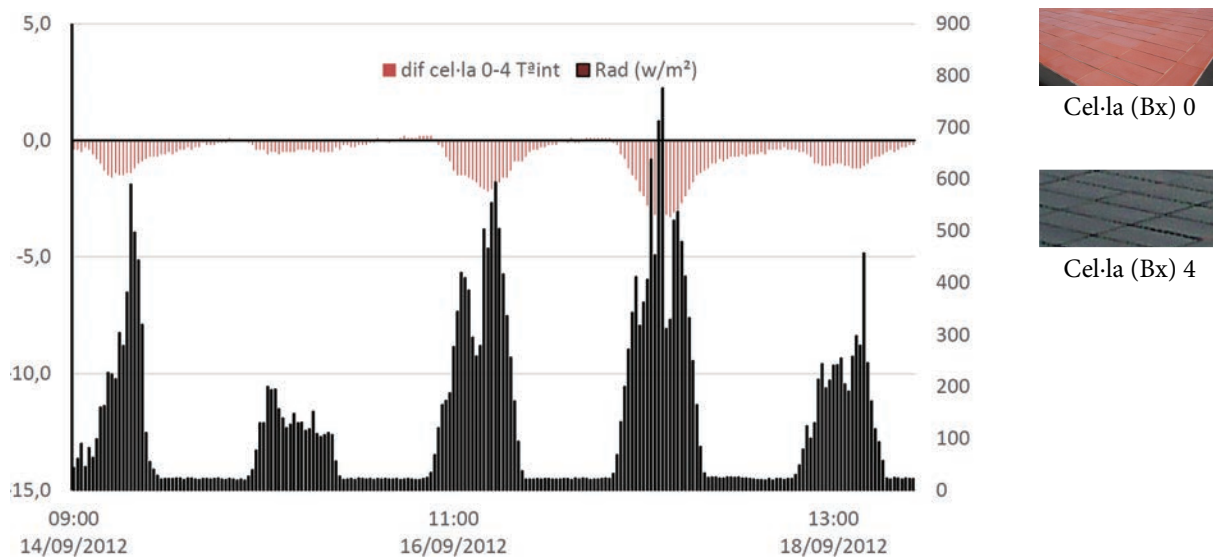
Font: OMR

Per tal d'analitzar aquest efecte s'han fet les següents gràfiques 5.09. En aquesta gràfica es relaciona la diferència entre les temperatures mesurades per els canals en la cel·la 0 (CERAMICAS CALAF) i la cel·la 4 (pigments BASF).

Si diferència entre cel·la 0 (canal 1,2 ó 3) menys cel·la 4 (canal 1,2 ó 3) és  $\geq 0$  llavors s'expressa com una columna per sobre de l'eix de les ordenades fixat en el 0,0. Si la diferència és  $< 0$  és una columna per sota de l'anomenat eix. (barres de color vermell)

En l'eix de les ordenades inferior, amb els valors en la abscissa de la dreta hi ha la potència de la radiació solar. (barres de color negre).





**Gràfica 5.09.** de 14 a 18 de setembre 2012,  $T^a$  sup. ext.,  $T^a$  sup. int. i  $T^a$  int. (canal 1, 2 i 3)

Font: OMR

En la primera (canal 1, superficial exterior) es veu com en les hores nocturnes, la temperatura superficial de la peça esmaltada amb pigments BASF és inferior a la peça ceràmica. Aquest efecte pràcticament ha desaparegut per les gràfiques dels canals 2 – $T^a$  sup int.- i 3 – $T^a$  int.-. Per tant, sembla que la capacitat de radiar calor de l'esmalt és bona, però malgrat tot no aconsegueix refrescar la peça i menys encara refredar l'interior de la cel·la. Cal però considerar que la peça amb pigments BASF re-emet molta més calor, ja que prèviament durant el dia s'havia arribat a escalfar molt més i en canvi a la nit aconsegueix temperatures inferiors a la ceràmica.

Que aquest efecte no es noti en les  $T^a$  sup. interior i  $T^a$  interior (canals 2 i 3) podria ser degut a una mala transmissió de calor entre la ceràmica i l'esmalt.

Cal destacar també la pendent de la corba, mentre que la produïda per escalfament és molt dreta, el refredament és molt més lent.

Per últim, fixar-nos que en el dia 17, concretament, la radiació ha estat tan alta, que ni durant la nit, la ceràmica amb pigments BASF aconsegueix arribar a evacuar tota la calor captada durant el dia.

Com a conclusió d'aquest apartat sembla clar que la ceràmica esmaltada fosca, malgrat els pigments BASF addicionats, s'escalfa molt més que la ceràmica vermella de CERAMICAS CALAF (referència), i això condiciona substancialment l'ambient interior de la cel·la, fent que la temperatura d'aquesta sigui superior. Les diferències arriben a ser gairebé de l' 11% (dia 22/09/12: 15,30h) més calenta la cel·la 4 –BASF- que la cel·la 0 –ceràmica-. Conseqüentment, la despesa en aire condicionat o el desconfort seria també superior. Destacar però la bona capacitat de remetre la calor cap a l'espai durant les hores nocturnes, fet que propicia que les temperatura superficial de la ceràmica esmaltada esdevingui inferior a la temperatura superficial de la ceràmica natural.



### 5.2.2. MODIFICACIÓ DE LA TEXTURA I GEOMETRIA

En la segona part d'aquest capítol s'ha treballat mantenint el to cromàtic, però modificant la i la textura geometria.

Els materials amb que es treballa, ceràmica esmaltada blanca llisa i texturitzada (CERAMICAS CUMELLA) situats en les cel·les 2 i 3 i grava, situada en la cel·la 5

Aquest materials són tots tres de color blanc, per tan deixaran d'absorbir gran part de la radiació. L'emissivitat de tots dos materials és:

material	Reflectivitat	Emissivitat*
Ceràmica esmaltada blanca	60-70%	0.92
Grava (marbre blanc)	60-70%	0.95

\* Taula 2.02

Les expectatives són, que els materials amb un acabat superficial menys homogeni, s'escalfaran menys degut a tres raons, les quals en certa manera ja s'apuntaven al començament del capítol:

- La primera és que la mateixa geometria del material provocarà ombres pròpies sobre la peça. Això farà que una part de l'àrea es mantingui protegida de la radiació solar directa i per tant s'escalfarà menys.
- La segona que de resultes de la morfologia superficial de l'acabat, aquest tindrà més superfície per dissipar calor. O sigui, la relació entre l'àrea real i l'àrea aparent serà substancialment major que 1. Per tant, la pèrdua de temperatura per convecció serà més ràpida en la peça amb major coeficient de rugositat. Aquest efecte però, podria ser que contrari a les hores nocturnes, ja que la superfície del material pot arribar a estar més fred que l'aire ambient.

$$\text{Coeficient de rugositat} = (\text{àrea real} / \text{àrea aparent}) \geq 1$$

- En el cas de la grava, serà el conjunt de dues estratègies: L'augment del coeficient de rugositat i la ventilació per cambres d'aire. Les cavitats d'aire entre cada pedra, no deixen de ser, en certa manera, una cambra ventilada, el que augmenta considerablement la superfície capaç d'evacuar calor per convecció.



Les primeres comparatives seran entre:

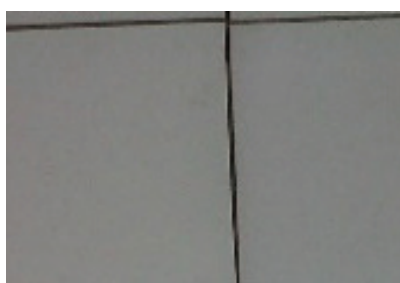
- Cel·la 0: la ceràmica vermella (Cel·la0), el material de referència
- Cel·la 1: ceràmica amb pintura blanca REVETON (Cel·la 1)
- Cel·la 2: ceràmica amb esmalt blanc llisa de Comella (Cel·la 2)
- Cel·la 3: ceràmica amb esmalt blanc texturitzada de Comella (Cel·la 3)
- Cel·la 5: grava blanca (Cel·la 5).

En una segona tongada de comparatives, i per centrar-se en la característica de la superfície del material, amb més o menys superfície de contacte amb l'aire, o sigui amb major o menor coeficient de rugositat, ens limitarem als materials següents:

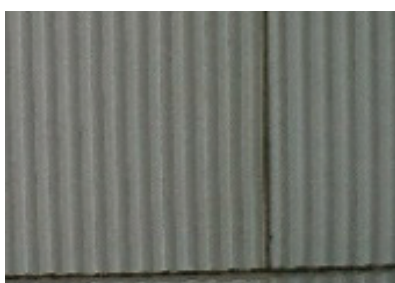
- Cel·la 2: ceràmica amb esmalt blanc llisa de CERAMICAS CUMELLA. Barreja de brillant i mate. (Cel·la 2)
- Cel·la 3: ceràmic amb esmalt blanc texturitzAda amb geometria de ziga-zaga de CERAMICAS CUMELLA. Barreja de brillant i mate. (Cel·la3)
- Cel·la 5: grava blanca. Textura aleatòria. Format per grava blanca provinent d'una cantera de marbre. (Cel·la5)

Dins d'aquesta segona tongada de comparatives es plantegen dues campanyes. La primera orientant les estries del material de la cel·la 3 de Est a Oest i una segona que es giraran les peces 90° i quedaran amb orientació Nord-Sud. La primera campanya es portarà a terme entre els mesos de juny 2013 i Abril 2014 i la segona d'Abril 2014 a Setembre 2014 respectivament.

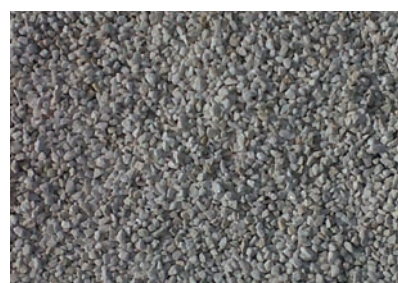
Les comparatives es faran amb les sondes 2 i 3, ja que la temperatura superficial sobre elements no homogenis (cel·la5) és molt difícil de prendre i no garantiria dades consistents.



Ceràmica Cumella llisa  
cel·la 2

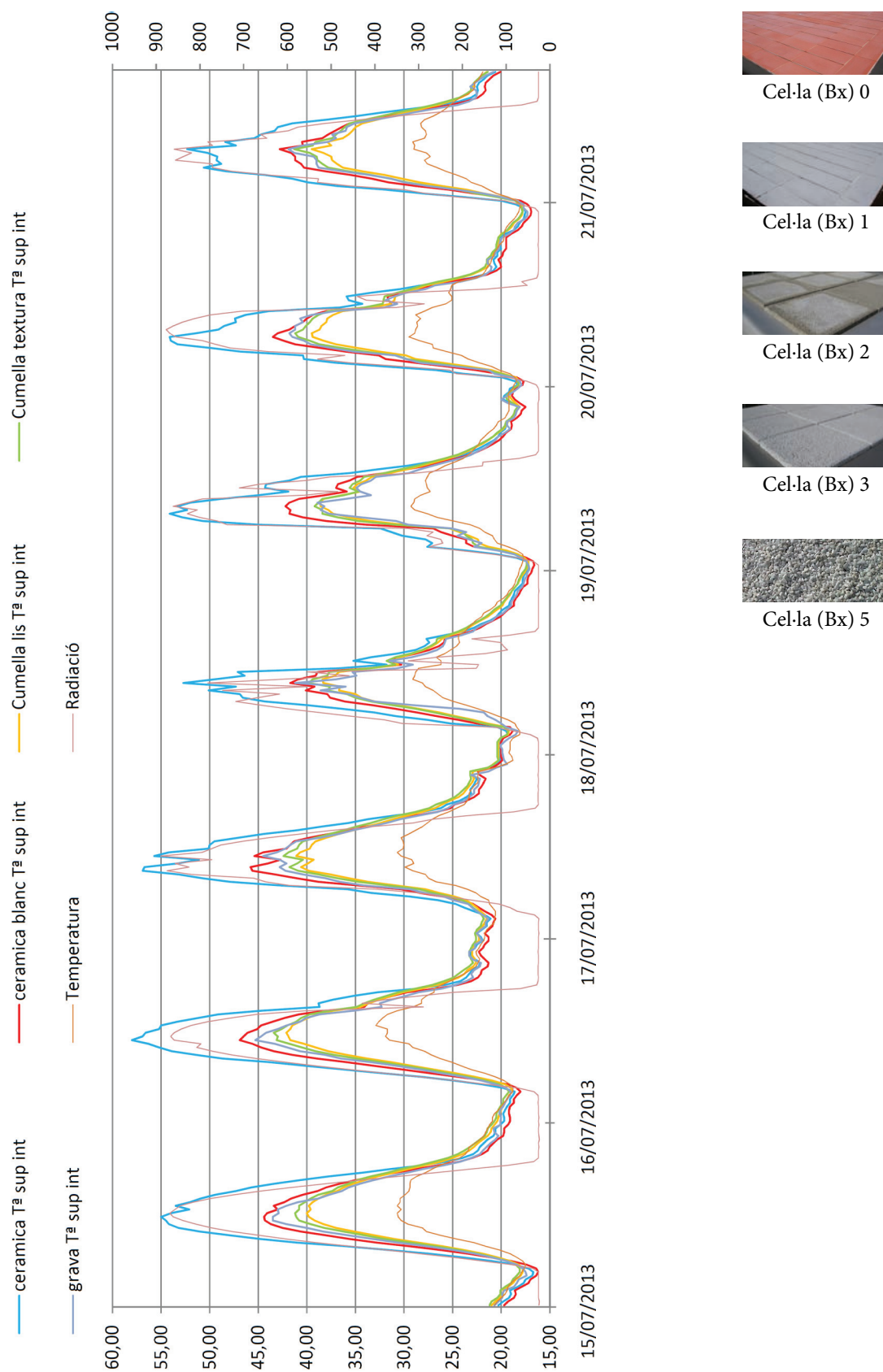


Ceràmica Cumella textura  
cel·la 3



Grava blanca  
cel·la 5

**Imatge 5.07.**  
**Font:** OMR



Gràfica 5.10. 3ª setmana de juliol'13. Tª superficial interior (canal 2)

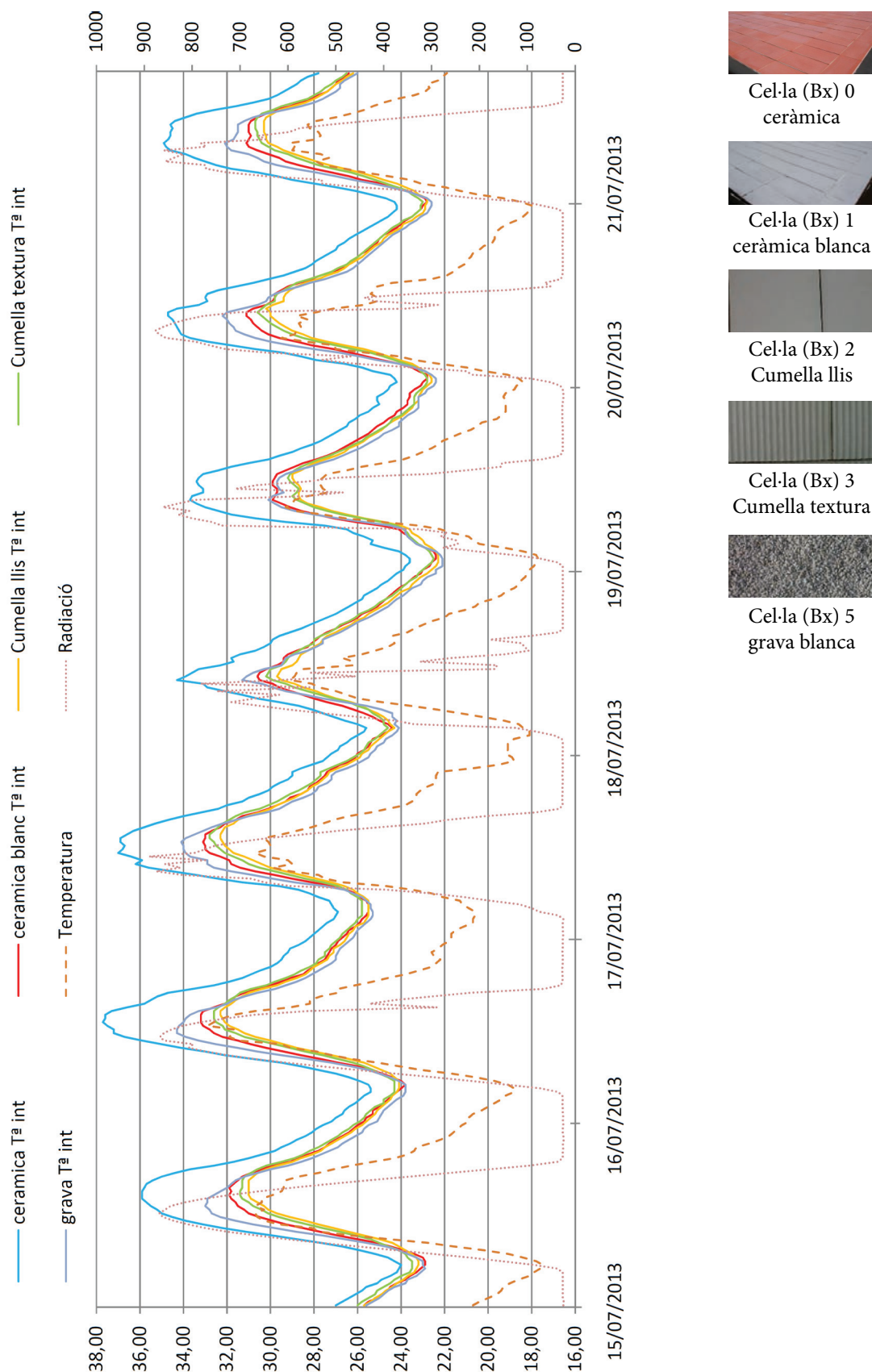
Font: OMR

La recollida i organització de dades s'ha anat fent per setmanes.

Aquestes gràfiques (5.10 i 5.11) contenen moltes dades i es difícil veure quina evolució té al llarg d'un dia les temperatures, tan siguin superficials com interiors de les caixes. Per tant es necessari treballar amb períodes de temps més curts per poder entendre els conceptes i veure'ls reflectits gràficament.

En la gràfica 5.10 s'aprecia a grans trets com les temperatures més altes les s'assoleixen en la Cel·la0 (ceràmica natural) i les mes baixes en la Cel·la2 (ceràmica esmaltada blanca llisa). També es pot identificar que les puntes semblen que siguin al mateix moment que les hores de màxima radiació solar.

En la gràfica 5.11, referent a les temperatures interiors (canal 3), es pot apreciar com hi ha una bona diferència entre el canal 3 de la cel·la 0 i la resta. Fins i tot, s'entreveu que el refredament de la cel·la 5 (grava blanca), es superior a la resta. O sigui, tot i no ser la caixa que manté temperatures més baixes en la cara superior en les hores de màxima radiació, sí que aconsegueix refredar-se més ràpidament i fins mantenir l'interior, durant les hores de falta de radiació, a temperatures més baixes.



Gràfica 5.11. 3ª setmana de juliol'13. Temperatura interior (canal 3)

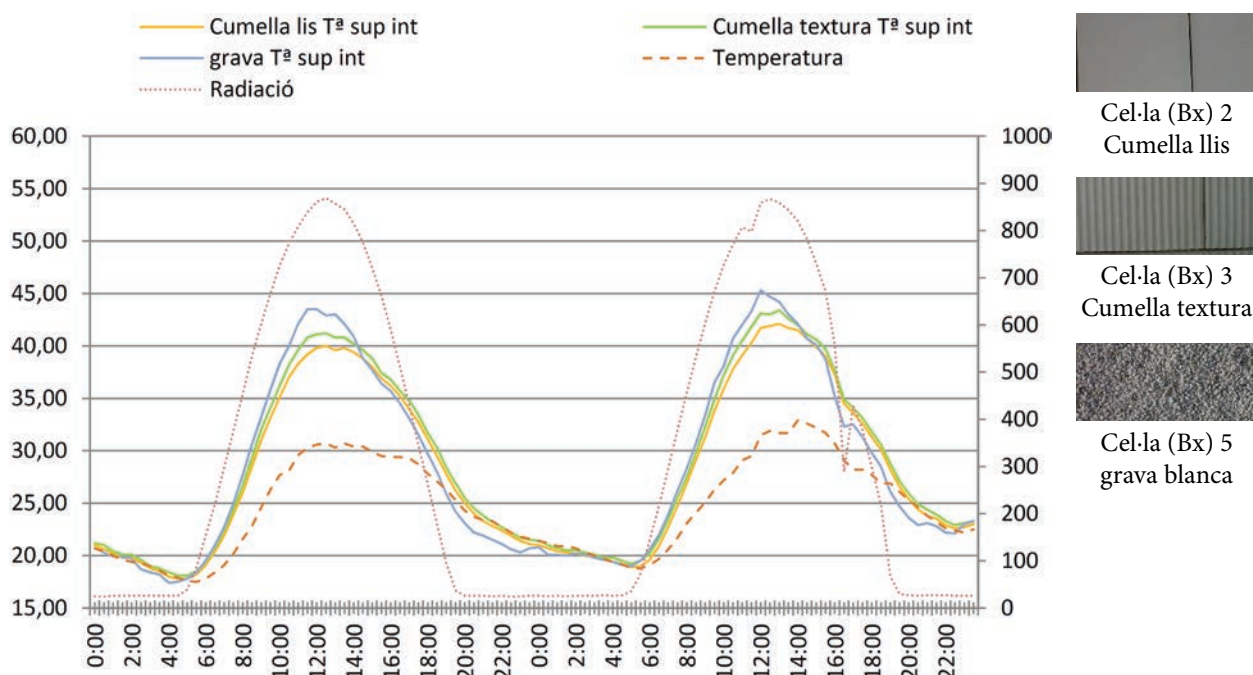
Font: OMR

Tot i així costa quantificar, amb quina proporció i rapidesa es succeeixen aquestes fenòmens que s'entreveuen en les gràfiques anteriors. Per aquest motiu es decideix treballar amb gràfiques que abastin menys dies. S'analitza com evolucionen les temperatures en períodes de 48 hores.

Tal i com s'ha dit, es decidí focalitzar l'estudi en les tres caixes descrites al començament del capítol (ceràmica blanca llisa i texturitzada i grava). Es suprimeixen la caixa 0 i 5. Això és degut per que es pretén analitzar la característica concreta de la geometria superficial.

Per a realitzar les gràfiques es prenen dies amb temperatures mitjanes o altes, d'aquesta forma s'apreciaran millor els resultats i així les diferències seran més clares. Els dies escollits són el 15 i 16 de juliol i el 17 i 18 de juliol tots del 2013.

Per poder avaluar l'evolució de temperatures es pren una escala de temperatures ajustat a cada situació. Així l'escala de la gràfica de la temperatura de les gràfiques 5.12 i 5.13 del canal 2 i del canal 3 respectivament són diferents. A més a més les gràfiques del canal 3 (gràfica 5.13) es dibuixa un entramat vertical per definir les temperatures en cada tram horari.



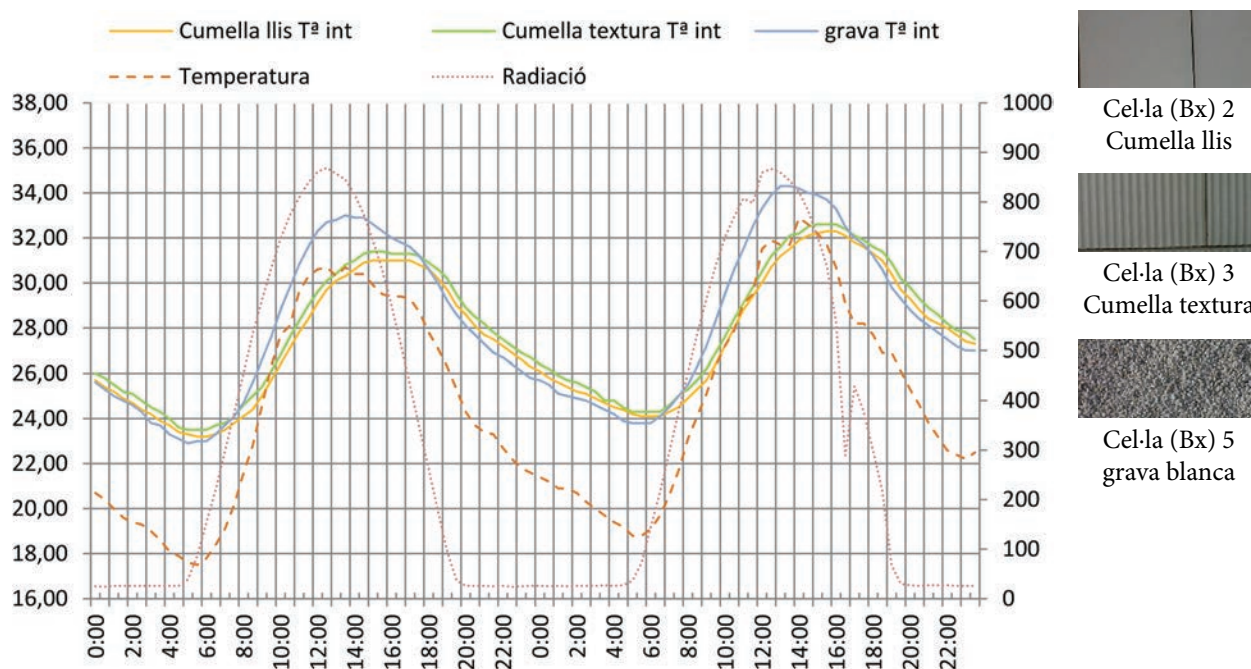
**Gràfica 5.12.** dies 15-16 de juliol'13. Tª sup int (canal 2)

Font: OMR

És interessant veure com en el cas de la gràfiques 5.12 i 5.13 les temperatures del canal 2 i 3, de la cel·la 5 (grava blanca) s'obtenen els valors més alts, però, en canvi, té el refredament més ràpid i la temperatura més baixa de les tres caixes. En el cas del canal 2, la temperatura acaba essent fins i tot, inferior a la temperatura ambient.

L'escalfament també es més ràpid en la cel·la 5 (grava) que en les caixes amb ceràmica esmaltada blanca (llisa i textura). Cal dir que el gruix de grava és escassament de 2-3 cm.





Gràfica 5.13. dies 15-16 de juliol'13. Tª interior (canal 3)

Font: OMR

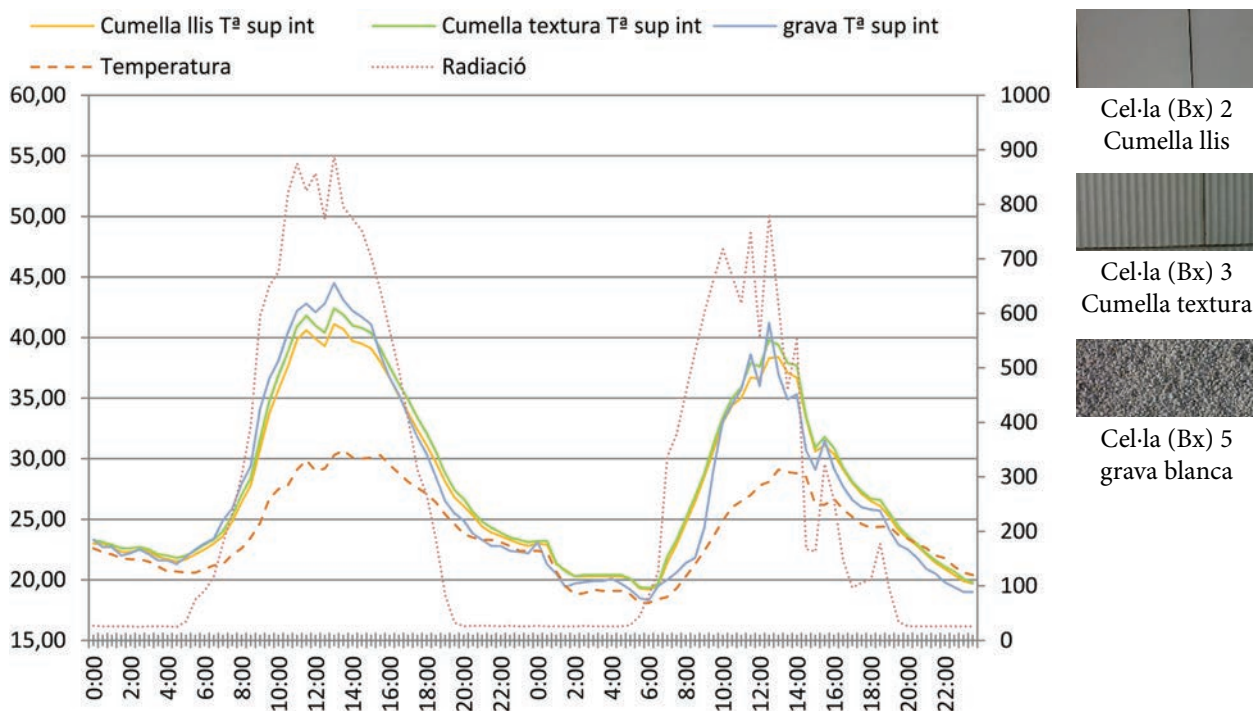
Per altre costat, cal destacar també, la molt poca diferència, en hores diürnes, de temperatures que hi ha a l'interior de les cel·les cobertes amb els dos materials de Cumella i la temperatura exterior. Dit d'una altra manera, en les cel·les 2 i 3, aconseguim que, en les hores de màxima radiació solar, la temperatura a l'interior és pràcticament la mateixa que a l'exterior.

Contràriament al que s'esperava la textura de la cel·la 3 (C. CUMELLA amb textura ^^^^ ) i la cel·la 2 (C. CUMELLA llisa) no produeix cap canvi substancial. Les dues corbes temperatura temps són pràcticament paral·leles. La corba generada per la cel·la 2 és sempre sensiblement inferior a la caixa 3, o sigui s'escalfa menys durant el dia i la temperatura mínima al vespre també es inferior. Així doncs la suposició que pretenia aconseguir millores en la peça amb textura no han donat resultats esperats, i el comportament tèrmic de totes dues peces és pràcticament igual. (Veure gràfiques 5.12 i 5.13).

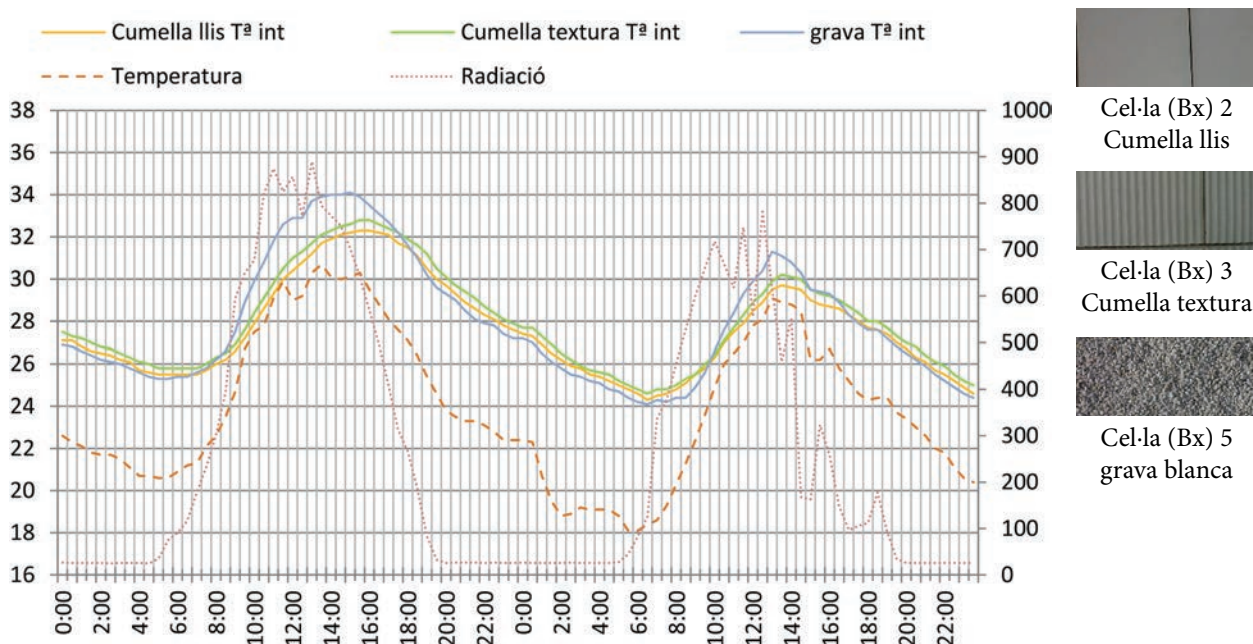
Respecta el desfase amb la temperatura i radiació, només es percep al canal 3. (desfase: entès com la diferència temporal entre l'hora de màxima temperatura exterior i màxima temperatura mesurada per la sonda 3 a l'interior de la caixa)

El material que té menys desfase és el de la cel·la 5 i són unes dues hores i mitja aproximadament. En canvi els materials de les cel·les 2 i 3 (ceràmica Cumella llisa i textura, respectivament) és de 3,5-4 hores. Això vol dir que a les 12 hores solars, (a l'estiu les 14'00h) la temperatura a l'interior de les cel·les es manté inferior que a l'exterior. I la màxima interior no arriba fins a les 16,00 hores solars (les 18,00h), moment en que la radiació solar comença a baixar. La temperatura interior i exterior

Això traduït a confort i estalvi energètic significa major número d'hores a l'interior de la cel·la a una temperatura inferior i, lògicament, menor despesa energètica per climatitzar aquests espais. A més a més, degut al desfase, la demanda energètica serà en una franja horària diferent a la demanda general, per tant evitarem puntes molt altes de demanda energètica.



**Gràfica 5.14.** dies 17-18 de juliol'13. Temperatura superficial interior (canal 2).  
Font: OMR



**Gràfica 5.15.** dies 17-18 de juliol'13. Temperatura superficial interior (canal 3).  
Font: OMR



Les mateixes conclusions es poden deduir dels dos dies següents, el 17 i 18 en les gràfiques 5.14 i 5.15 dels canals 2 i 3. Veure les gràfiques.

En paral·lel s'ha fet un altre comprovació. Aquesta consisteix en avaluar quina és la contribució solar en la modificació de la temperatura interior (gràfica 5.16). Al tractar-se de cel·les iguals, on l'única diferència és l'acabat superficial de coberta, la radiació solar serà l'únic que determina les diferències de temperatura.

La fórmula que s'utilitza és: (veure la justificació de càlculs a l'annex 1: Justificació de càlculs i materials).

$$I = M \cdot dT_i/dt + G \cdot (T_i - T_e) - D$$

on:

$T_i$ : temperatura interior (cada mitja hora)

$T_e$ : temperatura exterior (cada mitja hora...)

$M$ : massa tèrmica (\*veure càlcul al final del capítol)

$G$ : coeficient de pèrdues (=  $U \cdot$  superfície contacte) (\*veure càlcul al final del capítol)

$D$ : dissipació interna (= 0 no tenim carregues internes de calor)

$I$ : guany solar (de la cel·la concreta)

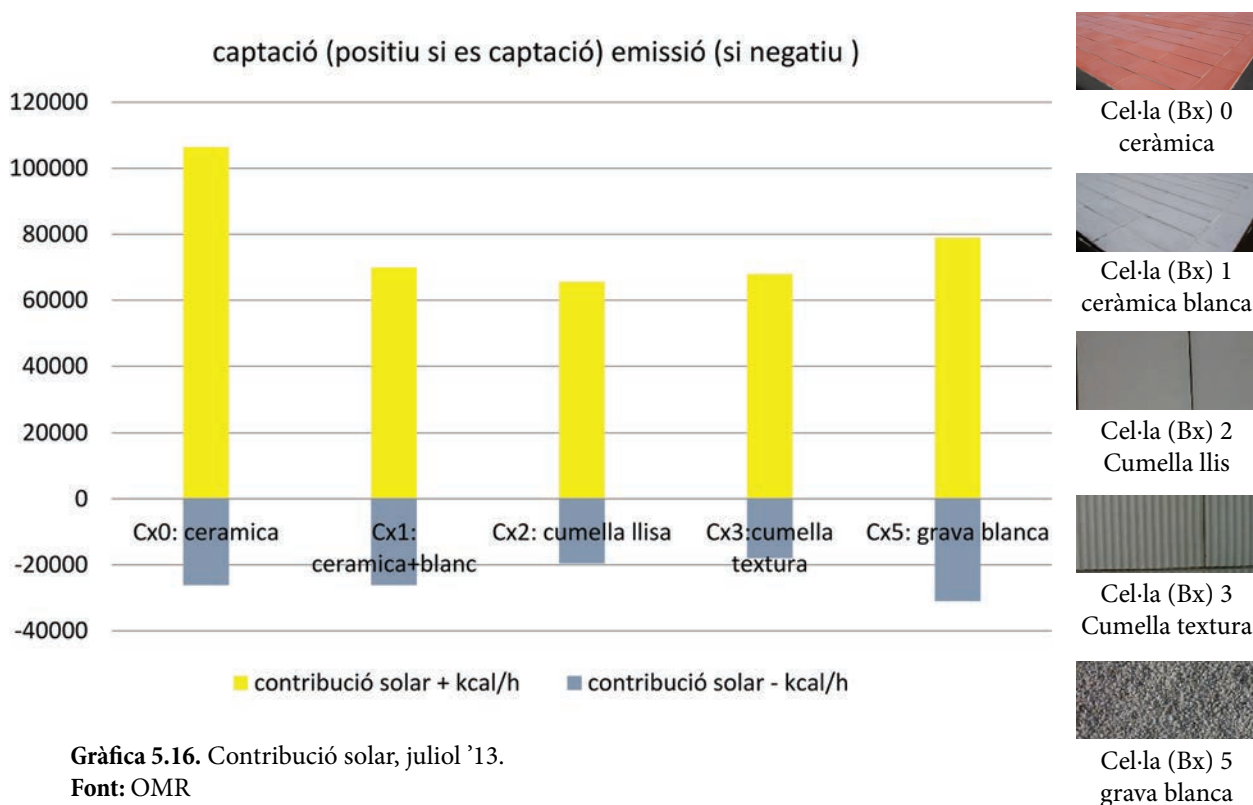
$dT_i/dt$ : variació de temperatura(en la hora, o mitja hora...)/temps en que ha variat. En la gràfica 5.16 es representa amb barres. Si el valor es positiu (groc), seran guanys tèrmics –que la radiació solar ha fet augmentar la temperatura de la caixa-, si es negatiu (blau) pèrdues, el flux de calor anava de l'interior cap a l'exterior. Per tant totes les barres tenen uns valors per sobre la cota zero i uns per sota. Com més alta sigui la columna per sobre de zero, major influència haurà tingut el sol en la variació de temperatura.

La barra blava, hauria de ser proporcional a la barra groga, doncs, com més s'ha escalfat un ambient, més capacitat tindrà posteriorment de dissipar calor. Això és veritat per a totes les mostres menys per la grava blanca (gràfica 5.16).

Tal i com es veu, les mostres de C. CUMELLA (cel·les 2 i 3), són les que millor reflecteixen la radiació solar, seguides de la pintura blanca de REVETON i de les graves blanques i la ceràmica vermella. Curiosament, i com ja s'ha anat veient en les gràfiques anteriors, la grava blanca, és la que té més capacitat de dissipar calor.

A diferència del que s'esperava, la ceràmica amb textura (Cel·la3), no es tan eficient per reflectir ni per dissipar calor com la ceràmica llisa (Cel·la2).

Per acabar es fa la mateixa taula que s'ha fet en la campanya anterior. La taula 5.02 aporta uns percentatges de cada material respecte el material de referència (Ceràmica, cel·la 0). Aquests, son sobre el sumatori de temperatures d'un període que va del 1/08/13 al 31/08/13.



			% ceràmica/ ceràmica blanca	% ceràmica/ CUMELLA llis	%ceràmica/ CUMELLA textura	% ceràmica/ grava blanca
01/08/2013	31/08/2013	24h	-9.04%	-10.74%	-9.95%	-9.78%
01/08/2013	31/08/2013	10,00 a 20,00h	-11.41%	-13.98%	-12.99%	-10.96%

**Taula 5.02.** Percentatges respecte material de referència –ceràmica-  
Font: OMR

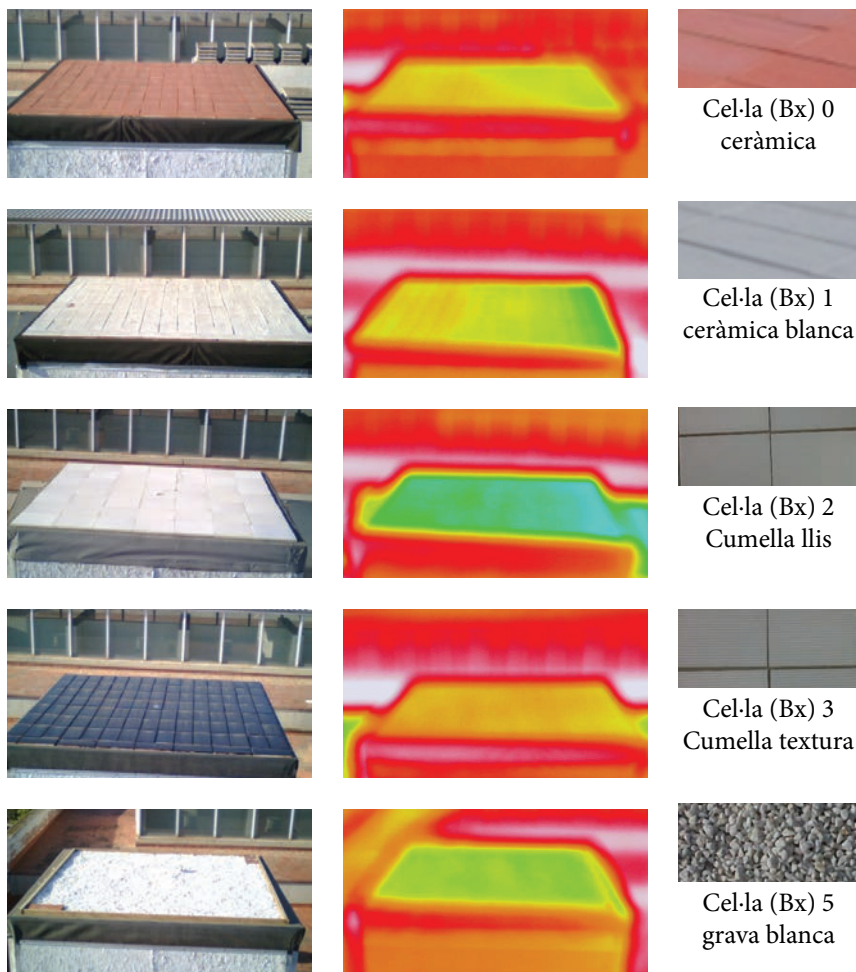
Tal i com indica la taula 5.02, i igual que passava en l'anterior, els percentatges milloren quan només prenem les hores diürnes, lògicament per que és quan més radiació hi ha. Amb la ceràmica blanca, el percentatge de millora entre les 24h o en hores diürnes és inferior que en els altres materials. Això tal i com s'ha justificat en gràfiques 5.12 i 5.13, és degut al ràpid refredament i la facilitat que té per alliberar calor.

Els dos materials que s’han repetit (ceràmica blanca i grava blanca), els percentatges són sensiblement millors en la taula 5.02 que a la 5.01. Això pot ser degut a l’augment en radiació que hi va haver l’any 2013.

Per acabar, i prenent com a vàlids els valors obtinguts en les taules 5.01 i 5.02, es fa una llista dels materials analitzats, ordenats del que ens donaria millor resultat com a cool roof al que ens donaria menys bon resultat.

1. CUMELLA llis
2. CUMELLA textura
3. Formigó porós blanc
4. Ceràmica REVETON
5. Grava blanca
6. Ceràmica
7. Formigó porós
8. Ceràmica amb pigments BASF

Aquesta llista també es correspon amb les fotografies termogràfiques que es van fer de les mostres. (setembre 2013)







## **CAPÍTOL 6: EXPERIMENTAL. CAMPANYA DE PRESA DE DADES SOBRE MÒDULS "ALGECO"**

### **6.1. APLICACIÓ EN UNA OBRA REAL**

Tal i com s'ha dit en capítols anteriors, el final de l'estudi consisteix en provar les solucions de cobertes fresques, avaluades en les etapes 1 i 2, en un edifici real.

Al Consorci de l'Educació de Barcelona, ens varen remarcar els problemes de sobre escalfament que hi havia en les aules de les escoles construïdes amb mòduls prefabricats. Per mirar d'actuar sobre una d'aquesta escoles es contactà amb l'empresa que té llicència per construir les escoles modulars. Aquesta és ALGECO SCOTSMAN

Al mateix temps, també es contacta amb empreses fabricants de productes per a cobertes (i que han desenvolupat una línia de materials per a cobertes fresques), que estiguessin disposades a subministrar i col·locar materials seus en un edifici pilot. D'aquestes converses en derivà el que finalment seria el final d'aquest estudi.

### **6.2. CONSIDERACIONS I REQUERIMENTS PER TRIAR EL TIPUS CONSTRUCTIU**

Quan hom es proposa actuar sobre un edifici cal considerar quins tipus edificació i de programa seran els més idonis per implementar una coberta fresca. Es plantegen llavors tot una sèrie de variables, requeriments i possibilitats que cal considerar. L'edifici, hauria de complir:

- A. Us de l'edifici durant les hores de màxima insolació.
- B. Programes i usuaris amb problemàtica de sobreescalfament.
- C. Possibilitat d'aconseguir estalvis energètics importants.
- D. Tipologia d'edificis que no admeti altres solucions de cobertes fresques, per exemple: coberta enjardinada, inundada...
- E. Plantejar-se la viabilitat del tipus de coberta fresca en sistemes constructius de coberta pesada o lleugera. La massa tèrmica de la coberta pot ser en ella mateixa una bona estratègia per evitar l'entrada de calor en els espais interiors (*The thermal mass on roof slabs as a thermoregulation strategy for indoor thermal comfort and low energy consumption. Marco D'Orazio*).

- F. A més a més cal la oportunitat que una empresa o entitat es brindi a voler provar aquest sistema d'aïllament tèrmic per a les seves construccions.
- G. Per últim, considerant que és un projecte pilot, cal que posteriorment se'n pugui fer difusió, plantejar-se la possibilitat de ser replicat i que tingui visibilitat tan per als usuaris com per a futures aplicacions.

Els següents paràgrafs reflexionen i intenten donar resposta punt per punt a les premisses inicials.

Referent a les hores d'ús de l'edifici, aquest havia de ser un programa d'oficina, indústria, o docent. També hi podria haver edificis dedicats a la ramaderia, però aquest estudi es vol basar en el confort de les persones. En tots els casos l'ús es produeix durant les hores de sol. Es descarta l'ús habitatge ja que sobretot seria vàlid per habitatges unifamiliars (la incidència en plurifamiliars en alçada és molt limitada a les últimes plantes situades immediatament sota el pla de coberta).

Si d'aquests programes enumerats anteriorment n'hi ha un que, degut a l'alta densitat de persones en un espai, tenen problemes evidents de condicionament climàtic de sobreescalfament, aquest és el destinat a docència. En els casos d'oficina o industrials, per uns o altres motius, el sobreescalfament no acostuma a ser un problema recurrent. Sovint és degut a l'ús majoritari de l'aire condicionat.

Aquest últim punt lliga amb el punt C. Si els edificis d'oficines són els que disposen de mecanismes per climatitzar, seran els que major interès podrien tenir amb aquest sistema, justament per reduir els consums energètics. Ara bé, els edificis d'oficines, acostumen a ser blocs en alçada, amb molt poca proporció de coberta respecte la resta dels tancaments.

Cal remarcar que hi ha també oficines en polígons industrials. Aquestes oficines ja estan en uns edificis amb característiques constructives molt diferents. Són construccions sovint prefabricades (pesades o lleugeres), de poca alçada, de ràpida construcció i amb una proporció de coberta relativament alta.

En la majoria d'aquestes construccions, la coberta és un element únicament de protecció a les inclemències meteorològiques: vent, aigua (pluja o neu) i radiació solar. Gran part d'aquestes cobertes apliquen els sistemes per a millorar el confort per els espais inferiors (aïllaments tèrmics en cel·las). Els sistemes utilitzats per construir la coberta en aquests edificis industrials són molt lleugers, amb solucions amb caducitat programada (coberts tipus Deck, per exemple) i amb mínim o nul manteniment durant la seva vida útil. Així doncs descarta la possibilitat d'utilitzar cobertes enjardinades i menys encara sistemes pesats o inundats.

Per últim cal plantejar-se la possibilitat de treballar en edificis de baixa alçada, i amb alta proporció de coberta, però amb estructures pesades. Aquest podria ser el cas de les escoles. En aquests casos



durant les hores de màxima afluència de gent, els sostres de coberta absorbeixen part de la calor, reemetent-la durant les hores nocturnes. Sembla doncs una bona fórmula. Això si, cal un bon sistema de ventilació nocturna que permeti dissipar la calor acumulada durant el dia, per garantir que el dia següent es produeixi el mateix efecte.

Cal considerar que els edificis amb estructures pesades de formigó i rematats amb un terrat pla, també poden admetre altres tipus de coberta enjardinades o inundades, amb comportament similar a una coberta fresca amb alta reflexió.

Com a conclusió a totes aquestes premisses, sembla que el tipus d'edifici que millor funcionaria per a dur a terme una prova real, serà aquell que compleixi els següents requeriments:

- De construcció lleugera (especialment la coberta)
- D'ús diürn, com pot ser la docència o oficina i amb alta càrrega interna.
- Alta proporció de coberta respecte tot el conjunt de tancament.
- Si l'edifici disposa de climatització per refredar, a més a més de millorar el confort, hi haurà un estalvi econòmic.

### **6.3. DESCRIPCIÓ DE L'EDIFICI SOBRE EL QUE ES DURANT A TERME LES PROVES.**

Després d'alguns contactes amb entitats, hi ha una entrevista amb ALGECO . Aquesta es una empresa de construccions modulars, amb molt mercat en el territori català i europeu, ja que es part de l'empresa multinacional ALGECO SCOTSMAN , líders europeus en la construcció modular.

Col·laborar amb ALGECO, és una oportunitat que permetia poder actuar, ja no sobre un edifici i programa concert, sinó sobre un sistema constructiu.

Aquestes construccions estan formades a partir de mòduls, transportables amb camió (desmuntades per plans o per mòduls tridimensionals), lògicament de poc pes. En la majoria dels cassos són construccions efímeres, amb una data de desmuntatge molt concreta. Tot i així també ofereixen la possibilitat de construir edificis definitius, amb la virtut d'una execució molt més ràpida que la tradicional.

A més a més, la imatge final dels edificis construïts amb aquest sistema, no és unitària, sinó que segons els objectius o voluntat del client pot ser diametralment diferent. Des de la caseta d'obra bàsica fins a un edifici acabat i etern.

S'adjunten imatges (6.01, 6.02, 6.03) per exemplaritzar el que s'ha esmentat al paràgraf anterior:



Campament d'obra



Mòduls per a sanitaris

**Imatge 6.01.**

**Font:** [http://www.algeco.es/uploads/documents/home/category/instalaciones\\_obra.pdf](http://www.algeco.es/uploads/documents/home/category/instalaciones_obra.pdf)



CEIP Nou Ripollet



Guarderia Igorre

**Imatge 6.02.**

**Font:** <http://www.algeco.es/uploads/documents/home/category/educacion.pdf>



Interior d'oficines



Oficines para agencia de prensa

**Imatge 6.03.**

**Font:** [http://www.algeco.es/uploads/documents/home/category/sector\\_oficinas.pdf](http://www.algeco.es/uploads/documents/home/category/sector_oficinas.pdf)

Totes aquestes característiques fan que la possibilitat d'implementar cobertes fresques en construccions modulars, respongui clarament a les expectatives enumerades al punt anterior.

REQUERIMENTS INICIALS.	RÈPLICA DE CONSTRUCCIONS MODULARS
A. Us de l'edifici durant les hores de màxima insolació.	ALGECO té gran quantitat d'escoles, oficines, casetes d'obra, vestuaris... Amb usos en hores de forta insolació.  Tots els mòduls ALGECO van equipats amb una bomba de calor com a sistema de condicionament actiu de la temperatura interior.
B. Programes i usuaris amb problemàtica de sobreescalfament.	
C. Possibilitat d'aconseguir estalvis energètics importants.	
D. Tipus d'edificis que no admeti altres solucions de cobertes fresques,	La tipologia constructiva d'ALGECO es basa en la lleugeresa (per facilitar el transport, el muntatge i desmuntatge...), per tant difícilment es podrà implementar una coberta pesada. Pel mateix motiu no serà pertinent treballar amb la massa tèrmica.
E. Plantejar-se la viabilitat del tipus de coberta fresca en sistemes constructius pesats. La massa tèrmica pot ser en ella mateixa una bona estratègia per evitar l'entrada de calor en els espais interiors.	
F. A més a més cal la oportunitat que una empresa o entitat es brindi a voler provar aquest sistema d'aïllament tèrmic per a les seves construccions.	ALGECO demostra gran empatia pel projecte i possibilitats d'adaptació de les cobertes fresques al seu sistema.

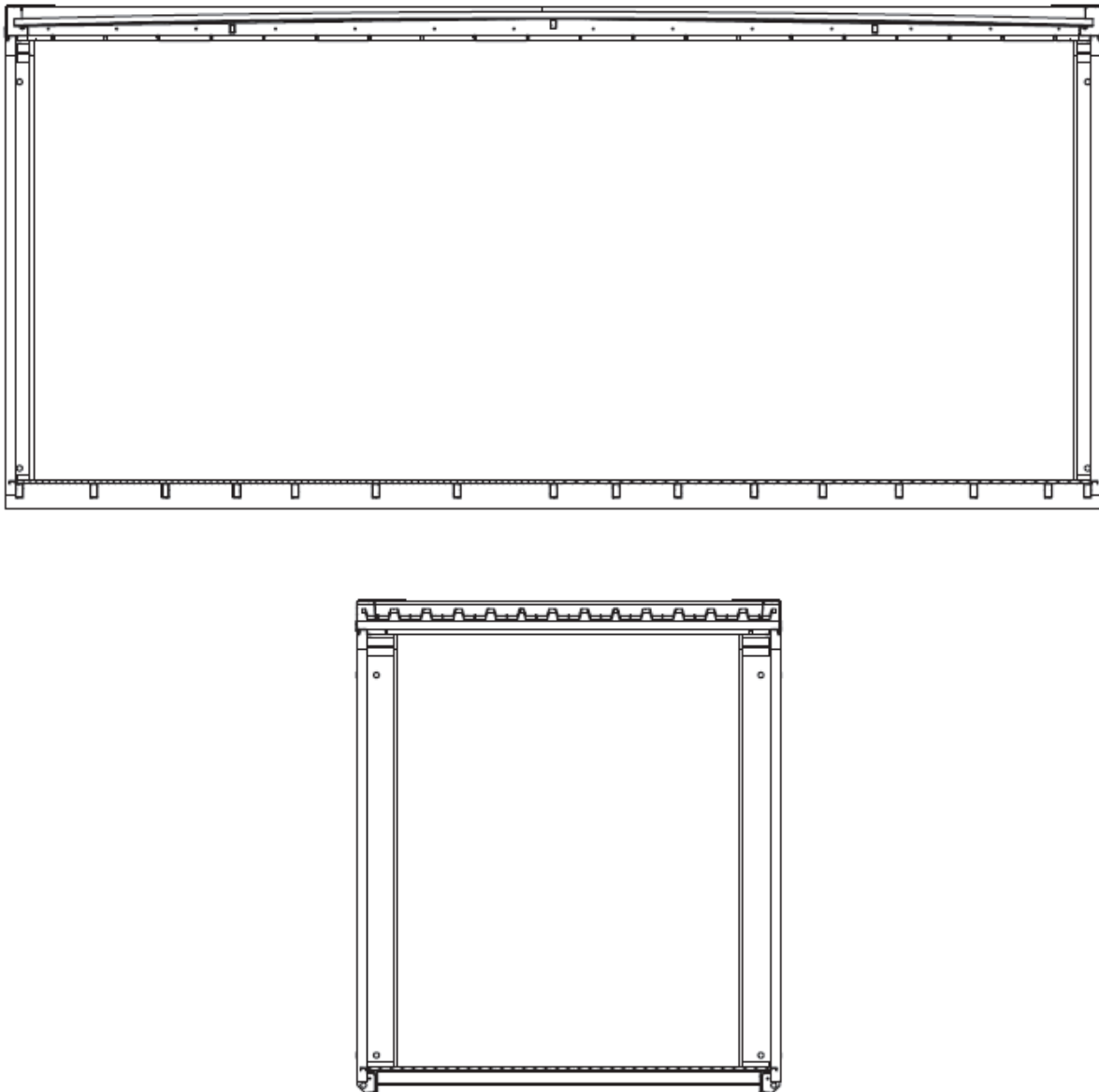
Així es comença a treballar amb l'empresa ALGECO amb qui es forjarà una col·laboració per tal d'implementar una coberta fresca en un dels seus edificis construïts amb el sistema modular. Donat la impossibilitat de disposar d'un edifici en us per a dur-hi a terme les investigacions finalment les proves es faran en mòduls climatitzats, però sense programa ni càrrega tèrmica d'un us específic.

## DESCRIPCIÓ DELS MÒDULS ALGECO.

Els mòduls ALGECO (la descripció es del mòdul bàsic, objecte sobre el que es realitzaran les proves) estan formats per una estructura principal de barres metàl·liques, situada a les arestes d'un ortoedre. Aquesta figura, té una posició determinada en l'espai, té una cara superior, una inferior (plans horitzontals, terra i coberta) i 4 cares verticals (façanes). El mòdul bàsic té una superfície de 15 m<sup>2</sup>.

La construcció del tancament de façana està feta amb panells sandwich (xapa d'acer lacada, poliuretà injectat 40mm de gruix i 40 Kg/m<sup>3</sup> de densitat i xapa d'acer lacada), on el gruix de l'aïllament es variable segons el requeriment del programa i la normativa tècnica que afecti a cada construcció. Els panells tenen l'alçada del mòdul i 1 metre d'amplada. En els panells, s'hi poden insertar les obertures (portes o finestres) o fins i tot arribar a ser substituïts totalment per a una obertura. Per la cara exterior es poden revestir amb gran varietat de materials alternatius per a formar una façana ventilada, per oferir una imatge determinada. També es poden deixar sense revestir. Tot dependrà de la voluntat del client i de la imatge que vulgui donar a l'edifici.

A sota (imatge 6.04) s'adjunta una secció longitudinal i transversal del mòdul.



**Imatge 6.04.** Secció longitudinal i transversal.

**Font:** Departament tècnic ALGECO

La coberta està formada per dues xapes metàl·liques (superior i inferior), fixats per unes corretges que van en el sentit curt del rectangle superior (Veure secció longitudinal a la imatge 6.04 superior). Entre totes dues xapes es disposa l'aïllament tèrmic (manta de fibra de vidre de 80mm). Aquestes corretges, estan fixades a alçades diferents, de manera que defineixen una corba en la cara superior per poder desguassar. La xapa superior és una greca d'acer galvanitzat, fixada amb cargols a les corretges. Paral·lels a les cares curtes de la coberta hi ha els canals de recollida d'aigua (els quals formen part de la mateixa estructura) i en els seus extrems hi ha els baixants de desguas, inserits en la cantonada del mòdul.

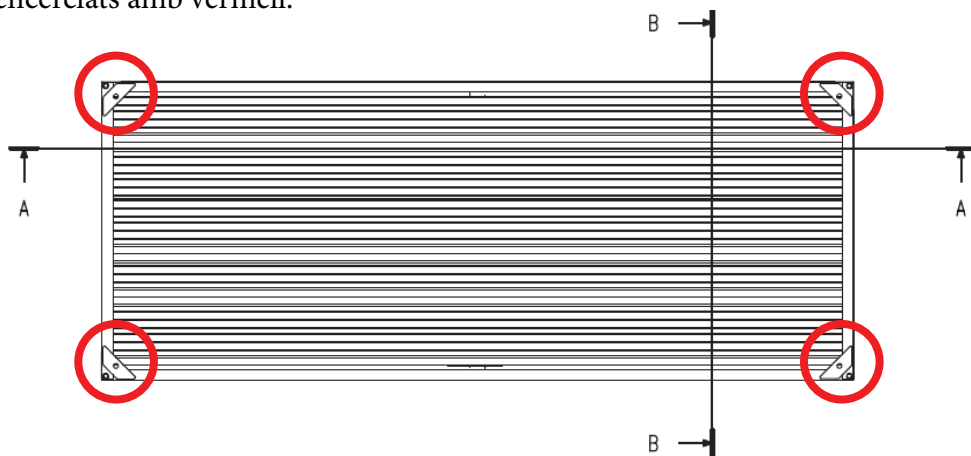
La xapa inferior pot ser de molts materials. En el cas objecte d'estudi, i en gran quantitat de mòduls, són safates d'acer plegat en forma de  $\pi$  aplanada i invertida, fixades a les bigues llargues de l'estructura. Aquesta safates, sobre les que es recolza la fibra de vidre, poden ser perforades per millorar l'absorció acústica.

El terra (el pla horitzontal) dels mòduls també pot estar construït de diferents materials. Així segons el programa que albergui el mòdul, pot estar format per un panell de fusta i amb un acabat de paviment de linòleum, però també pot disposar (segons la normativa que afecti l'ús de la construcció) d'una solera de formigó la qual pot rebre qualsevol tipus de paviment, des d'un parquet fins a un gres.

## DESPLAÇAMENT I IMPLANTACIÓ DELS MÒDULS

Els mòduls ALGECO, són col·locats a l'obra amb el mateix camió grua que els transporta. Així amb un sol mitjà mecànic poden quedar dipositats al solar.

L'estructura del prisma (o ortoedre), situada en les arestes, disposa d'uns punts de suport en els quatre vèrtex de la cara horitzontal superior (la coberta). Aquest mòduls, per a fonamentar, necessiten com a mínim de quatre punts anivellats per a recolzar-se. Veure en les imatges 6.05 i 6.06 inferiors els punts encerclats amb vermell.



**Imatge 6.05.** Planta coberta.

**Font:** Departament tècnic ALGECO



**Imatge 6.06.** Imatge i detall de la col·locació dels mòduls amb el camió grua. En les imatges només hi ha el paviment i l'estructura però pot anar totalment acabat amb coberta i façanes.

Font: OMR

## 6.4. PLA DE TREBALL: PROGRAMACIÓ, ESTACIÓ METEOROLÒGICA

### 6.4.1. COL·LABORACIÓ

El projecte ALGECO-ESPILL<sup>1</sup>, ha consistit a avaluar el comportament dels mòduls amb la incorporació de solucions de cobertes fresques. Totes dues parts van arribar a un acord i es varen definir unes tasques, que cada part hauria de complir per tal de desenvolupar el projecte amb garanties d'èxit.

El doctorand es va comprometre a:

- analitzar i proposar solucions de cobertes fresques idònies i complementàries amb el sistema constructiu d'ALGECO
- monitoritzar el comportament energètic dels mòduls amb sensors tèrmics i comptadors elèctrics,
- mesurar els consums d'electricitat per a la climatització amb comptadors elèctrics.
- recopilar de l'estació meteorològica més pròxima les dades tèrmiques (sobretot temperatura exterior i radiació solar) i creuar-les amb les de les sondes instal·lades als mòduls.
- analitzar els resultats de la implementació de les solucions de coberta fresca i realitzar comparatius respecte les solucions de coberta actuals.

---

<sup>1</sup> ESPILL: Òptica: un espill o Mirall, superfície on es reflecteix una imatge. Amb aquest mot es comença a denominar aquesta investigació sobre cobertes fresques la qual ha derivat amb aquesta tesi doctoral.



- Lliurar document de conclusions finals a ALGECO.

ALGECO es compromet a cedir durant un període de (10 mesos) un espai per disposar tres mòduls independents de 15 m<sup>2</sup>, equipats amb un sistema de climatització i l'energia necessària per fer funcionar els aparells tèrmics (calefacció i refrigeració). Així mateix oferirà les condicions i els mitjans per a poder implementar les solucions de coberta fresca.

A aquestes efectes es signa un conveni de col·laboració ALGECO-ESPILL-UPC, on totes les parts es comprometen a les accions enumerades per desenvolupar l'estudi. Veure Annex 6.

### 6.4.2. SITUACIÓ

Els mòduls es varen situar en un solar (punt vermell en imatge 6.07) que té ALGECO a dins el campus de la Universitat Laboral de Tarragona. Les dades de l'emplaçament són: Universitat Laboral. Camí Vell de Salou, 0 43006 Tarragona. Tel.977 54 01 74.Coordenades 41°05'N 1°12'E.



Imatge 6.07. Situació de la instal·lació i orientació dels mòduls.  
Font: Google Earth i OMR





**Imatge 6.08.** Vista dels mòduls ja situats.  
**Font:** OMR

### 6.4.3. DESCRIPCIÓ DE LA INSTAL·LACIÓ

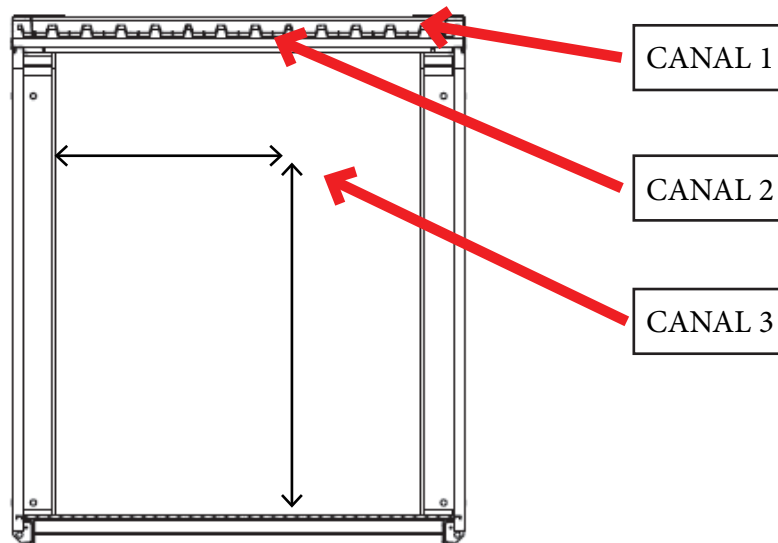
Cada un d'aquests 3 mòduls (els anomenarem mòdul 0, 1 i 2 o bé amb els diminutius Md0, Md1 i Md2) són equipats amb 3 sondes per mesurar la temperatura. Les dades seran emmagatzemades en uns dataloggers amb recollida de dades cada 15 min.

Les sondes es distribueixen en cada un dels mòduls de la següent manera:

- SONDA 1 (o Ch –canal- 1): en la cara superior de la coberta, la més exposada
- SONDA 2 (o Ch –canal- 2): en la cara inferior de la coberta en contacte amb l'espai interior climatitzat.
- SONDA 3 (o Ch –canal- 3): mesura la temperatura interior. Situada: 117 cm.

Alçada respecte el terra (paviment): H	Mòdul 0: 163 cm
	Mòdul 1: 162 cm
	Mòdul 2: 160 cm
Distància respecte façana sud: D	Mòdul 0: 117 cm
	Mòdul 1: 114 cm
	Mòdul 2: 106 cm

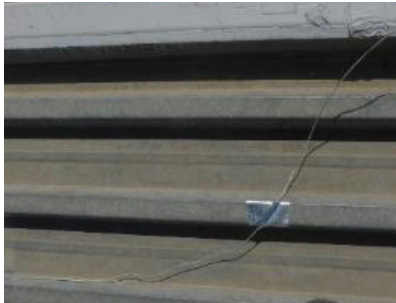
A la secció següent (imatge 6.09) s'indica de forma esquemàtica la situació de cada sonda;



**Imatge 6.09.** Secció transversal. Situació de les sondes en els mòduls.

**Font:** Departament tècnic ALGECO i OMR

A les imatges del quadre inferior (imatge 6.10) es poden veure les sondes i el datalogger amb que es monitoritza cada un dels mòduls.



**Imatge 6.10.** Imatges de les sondes i datalogger.

**Font:** OMR



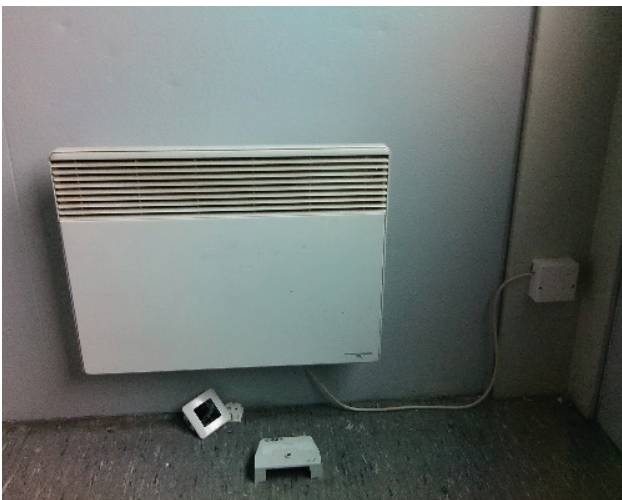
**Imatge 6.1.** Comptador elèctric

**Font:** OMR

A més a més cada mòdul disposarà d'un comptador elèctric<sup>2</sup>, per mesurar els consums reals de kWh elèctrics de la climatització. (Imatge 6.11)

La climatització es realitzarà amb una bomba de calor aire-aire que permet refredar o escalfar per aire, el qual mantindrà una temperatura interior de consigna establerta (Imatge 6.12). El mateix aparell disposa d'un termòstat per garantir les condicions fixades constants.

<sup>2</sup> Aquests han estat cedits per Oriol Boix Aragonès PDI, Enginyeria Elèctrica, Universitat Politècnica de Catalunya, Espanya oriol.boix@upc.edu



**Imatge 6.12.** Aparells de climatització. (dalt i centr per a l'època càlida i baix per hivern)  
**Font:** OMR

Malgrat disposar de la possibilitat de refredar o escalfar, per l'època freda finalment es va disposar d'uns panells amb convector els quals generen calor per efecte joule (Imatge 6.12).

En capítols anteriors ja s'han descrit les característiques constructives dels mòduls. A nivell específic remarcar la finestra que es veu en la foto de conjunt. Es va sospesar si calia protegir-la de la radiació directa. Finalment s'ha decidit que no. La decisió es resultat de considerar que com que no hi hauria càrregues internes per us, es compensava la manca d'aquesta càrrega habitual amb la radiació solar directa que entrés per la finestra. Aquesta serà una variable més que influenciarà els resultats, però que és idèntica per a cada mòdul, o sigui que la influència serà també igual en cada mòdul.

#### 6.4.4. ESTACIÓ METEOROLÒGICA:

Per aconseguir dades meteorològiques fiables s'ha buscat quina és l'estació de la xarxa pública més propera. A dos quilòmetres en línia recta de la situació dels mòduls hi ha una estació del servei de Meteorologia de Catalunya: ESTACIÓ Tarragona – Complex Educatiu (UTM : X (m): 349030, Y (m):4552058 ) . Aquesta estació recull les variables de: Velocitat del vent, Direcció del vent, Temperatura (°C), Humitat relativa (%), Pressió atmosfèrica (hPa), Precipitació (mm), Irradiància solar global (W/m<sup>2</sup>). La recollida de dades és cada 30min. (Imatge 6.13)

Tenir aquestes dades ens permetrà contrastar les dades obtingudes per les sondes dels mòduls amb la temperatura de l'aire exterior, la irradiància solar, la velocitat i direcció del vent.

**Estacions automàtiques (XEMA)****Tarragona - Complex Educatiu**

<b>Codi:</b>	XE
<b>Municipi:</b>	Tarragona
<b>Comarca:</b>	Tarragonès
<b>X UTM (m):</b>	349030
<b>Y UTM (m):</b>	4552058
<b>Altitud (m):</b>	5
<b>Variables:</b>	Velocitat del vent a 10 m (m/s) Direcció del vent a 10 m (graus) Temperatura (°C) Humitat relativa (%) Pressió atmosfèrica (hPa) Precipitació (mm) Irradiància solar global (W/m2)
<b>Data inici:</b>	05/02/2009
<b>Data baixa:</b>	



**Imatge 6.13.** Característiques i foto de l'estació (<http://www.meteo.cat/observacions/xema/dades?codi=XE&-dia=2016-06-15T11:00Z>). Planol de situació i distància al solar on hi haurà els modul ALGECO.

**Font:** Servei Meteorològic de Catalunya i Google Earth

#### 6.4.5. PLA DE TREBALL

NOTA: Aquest fou el pla de treball pactat inicialment amb ALGECO, en la descripció posterior de cada fase, es podrà veure com el seguit d'accions s'han anat adaptant segons els esdeveniments.

En el conveni ALGECO-ESPILL-UPC (anomenat al punt 6.4.1 d'aquest capítol) especificava que cada visita a la instal·lació dels mòduls anirà precedida d'una acta que s'enviarà a ALGECO (Sr. Josep López: jose.lopez@as.algeco.com ).

*ANÀLISIS TÈCNIQUES I FÍSQUES DEL COMPORTAMENT  
DE LES COBERTES "FRESQUES" (COOL ROOFS) : EL CAS DE CATALUNYA.*

DURADA	FEINES	EXPECTATIVA DE RESULTATS
1 set 10-14 març'14	Muntatge de sondes i comptadors elèctrics. Valorar augmentar inèrcia tèrmica a l'interior dels mòduls afegint bidons d'aigua.	
1 set 17-21 març'14	Inici de les mesures:	Mesurar temperatures dels tres mòduls i comparar-les per garantir la similitud de condicions en cada un dels mòduls. Validar els resultats.
1 set 24-28 març'14	Inici de climatització: engegar les tres màquines de clima, una en cada mòdul	Mesurar temperatures dels tres mòduls i despesa energètica de cada una de les màquines. Validar resultats, verificar rendiments de cada una de les màquines.
1 set 31 març -4 abril'14	Aplicació sobre coberta mòdul 1 de pintura termorefectant. Aplicació sobre coberta mòdul 2 de solució ceràmica.	
17 set. 7 abril -1 agost'14	Recollir dades quinzenalment de cada un dels mòduls.	Anàlisi de resultats, formació de gràfiques, estudi d'estalvis energètics. Creuament amb dades de meteo.
Final etapa 1 (total 21 setmanes, del 10 de març a 1 d'agost, aprox. 5 mesos). Fins a solstici. S'esperen els resultats més favorables –majors estalvis energètics en climatització per refredar i major confort- Ha estat funcionant durant els mesos de més radiació solar.		Redacció de conclusions de l'etapa 1. Proposta de nous acabats per als mòduls, tan per als de lloguer com per als d'edificis definitius.
20 set 4 agost -19 desembre'14	Recollir dades quinzenalment de cada un dels mòduls.	Anàlisi de resultats, formació de gràfiques, estudi d'estalvis energètics. Creuament amb dades de meteo.
Final etapa 2 (total 20 setmanes, del 4 d'agost al 19 de desembre, aprox. 5 mesos)		Redacció de conclusions de l'etapa 2. Revisar els estalvis generats en cada etapa. Verificar la bondat de la solució durant etapes de menys radiació. Analitzar si hi ha penalitzacions en la climatització.
2 set 12 -24 gener'15		Redacció de conclusions i memòria de la col·laboració ALGECO-UPC

## 6.5. MATERIALS D'ACABAT DE LES COBERTES I PROPOSTES DE MILLORA

En un primer estadi (veure cronologia) els materials d'acabat cool roof de coberta seran tres i aniran disposats sobre els mòduls de la manera següent:

- Mòdul 0: solució estàndard d'ALGECO (veure les característiques del mòdul estàndard en punt 6.3 Descripció mòduls ALGECO)
- Mòdul 1: solució de pintura amb alta capacitat reflectant i alta emissivitat de REVETON: REVSUN METAL
- Mòdul 2: solució de coberta millorada d'ALGECO. Aquesta consisteix en doblar l'aïllament tèrmic per conducció, disposant-lo sobre la coberta pre-existent i impermeabilitzar de nou amb una xapa metàl·lica, rematada perimetralment amb perfils L de planxa plegada.

Amb la recollida de temperatures s'espera obtenir resultats concloents de la variabilitat de la temperatura –i confort- interior depenent de l'acabat de coberta emprat, així com de l'impacte en el consum elèctric per a climatització. A partir d'aquestes dades serà fàcil deduir l'estalvi econòmic i temps de retorn de cada solució.

També, serà interessant veure en quin percentatge funciona millor una solució amb alta reflexió (mòdul 1: REVETON: REVSUN METAL) vs una en la qual s'ha doblat l'aïllament tèrmic (mòdul 2: ALGECO millorada). Aquestes conclusions seran molt interessants per ALGECO ja que la solució inicialment prevista de doblar l'aïllament és un handicap en la mesura que:

- Es un afegit que s'ha de fer a posteriori i de forma manual. Per tant cal personal treballant a peu d'obra, als quals han de muntar bastides per la seguretat i allarga els períodes de construcció.
- La situació de la nova panxa addicional, invalida els quatre punts de suport i per tant impossibilita el transport del mòdul fins que no ha estat retirada.

A aquest efecte, l'estudi es planteja oferir noves solucions de coberta que millorin el confort a l'interior dels mòduls sense augmentar la despesa energètica i que siguin compatibles amb les característiques de les construccions prefabricades, les quals sovint, tenen un caràcter efímer. Les solucions que es proposin hauran de ser coherents amb les tècniques, usos i caràcter temporal de les edificacions.



## SOLUCIONS DE COBERTES FRESQUES COMPATIBLES AMB LA CONSTRUCCIÓ MODULAR.

Des de bon començament, en converses amb ALGECO, es contemplaren més d'una possibilitat de coberta fresca. Així com la construcció modular pot respondre a distints tipus de programa: durada de l'edifici, nivells d'acabat, superfície total construïda... les solucions que es volien provar de cobertes fresques també havien de respondre a tot aquest ventall de propostes arquitectòniques.

Així es plantejaren com a mínim dues solucions: una molt bàsica, de cost mínim, i una segona, amb més qualitat arquitectònica, per oferir solucions a edificis més perdurables en el lloc i en el temps.

La possibilitat d'haver testat diferents materials amb les cel·les PAUS a la coberta de l'ETSAV, permet oferir solucions variades i ja pre-evaluades.

L'única limitació que se'ns imposà fou el pes. El material cool roof de revestiment que sobreposés-sim havia de permetre seguir considerant la coberta com a lleugera.

*Veure: CTE DB SI. Seguridad Caso de Incendio. Capítol 3 Elementos estructurales principales. Punt 2: La estructura principal de las **cubiertas ligeras** no previstas para ser utilizadas en la evacuación de los ocupantes y cuya altura respecto de la rasante exterior no exceda de 28 m, así como los elementos que únicamente sustenten dichas cubiertas, podrán ser R 30 cuando su fallo no pueda ocasionar daños graves a los edificios o establecimientos próximos, ni comprometer la estabilidad de otras plantas inferiores o la compartimentación de los sectores de incendio. A tales efectos, puede entenderse como ligera aquella cubierta cuya carga permanente debida únicamente a su cerramiento no exceda de 1 kN/m<sup>2</sup>*

Així mateix, les diferents propostes de cobertes fresques havien de ser contrastades i comparades amb les diferents solucions de cobertes millorades que ja han desenvolupat la mateixa empresa.

A més a més, caldrà verificar la viabilitat econòmica de cada solució. Cal tenir en compte que la millora no suposa un estalvi econòmic per ALGECO (majoritàriament els mòduls es lloguen per un període de temps determinat). Aquest estalvi recau en l'usuari final, el qual veurà reduïdes les factures energètiques per a la climatització dels seus espais. A més a més, millorarà el confort a l'interior dels espais modulars. Es tracta d'una inquietud de l'empresa ALGECO per millorar el seu producte i fer-lo més amable per als usuaris. Sense oblidar que les solucions cool roof milloraran l'etiqueta energètica del producte, fent-lo més competitiu en el mercat.

Per últim, totes les solucions han de ser compatibles amb el sistema constructiu d'ALGECO i/o amb el sistema d'implantació dels mòduls. Per tant, hauran de ser desmuntables i reutilitzables, en cas d'haver de desplaçar l'edifici, i si més no, no dificultar (o requerir de mitjans mecànics addicionals) el moviment dels mòduls amb la grua.



## 6.6. EMPRESES COL·LABORADORES.

En aquest estudi s'hi han involucrat les següents empreses:

Empresa:	Producte:	Contacte:
ALGECO	MÒDULS	López José Jose.Lopez@as.algeco.com Brunet Josep-Maria Josep-Maria.brunet@as.algeco.com
MATERIS PAINTS. REVETON	REVSUN METAL	Jaume Pellisé: Jaume.Pellise@MaterisPaints.es
PIERA MALPESA ECOCERAMICA	FLEXBRICK	Jaume Colom jjjcolom@hotmail.com Vicente Sarrablo sarrablo@coac.net

## 6.7. ANÀLISIS DE RESULTATS I INTERPRETACIÓ. ETAPES, HIPÒTESIS I RESULTATS

L'anàlisi dels resultats es realitza cronològicament, en paral·lel amb les diferents fases i proves que s'han portant a terme.

L'estudi ha tingut 12 etapes. La durada de cada una i les característiques dels materials de coberta o el tipus de climatització de cada mòdul queden definides en la taula adjunta a continuació. La informació que conté aquesta taula és:

- **Columna Data:** període en que es desenvolupa l'estudi (any, mes, dia)
- **Columna etapa** (num), enumera cada període de temps.
- **Columna Mòdul 0:** material d'acabat que hi ha en la coberta del mòdul 0. En aquesta columna els materials poden ser:
  - Xapa: coberta d'origen dels mòduls.
  - Flexbric: coberta origen revestida amb les peces ceràmiques.
- **Columna Mòdul 1:** ídem anterior mòdul 1.
  - Xapa, ídem anterior.
  - Revsun metal: xapa de la coberta origen revestida amb pintura blanca d'alta reflexió (76%) i emissivitat tèrmica (0,88).

- **Columna Mòdul 2:** ídem anterior mòdul 2
  - Xapa, ídem mòdul 0
  - Algeco millorada, doblant sobre la xapa origen amb un aïllament tèrmic de fibra de vidre (80 mm) i una xapa blanca.
- **Columna Clima:** pot estar en:
  - Regim lliure: no hi ha cap sistema de clima
  - Ventilació: no es climatitza però es ventila
  - Clima: s'aporta calor o fred al mòdul, segons l'època de l'any.
  - A més a més a la taula, apareixen les incidències que hi ha hagut, ressaltades en negreta.

A més a més a la taula, apareixen les incidències que hi ha hagut, ressaltades en negreta.

Data / etapa		Mòdul 0	Mòdul 1	Mòdul 2	Clima
140317 a 140331	1	xapa	xapa	xapa	Regim lliure
140331 a 140414	2	xapa	xapa	xapa	Ventilació
140414 a 140428	3	xapa	xapa	xapa	Regim lliure
140428 a 140512	4	xapa	Revsun metal	xapa / Algeco millorada	Regim lliure
140512 a 140616	5	xapa	Revsun metal	Algeco millorada	Ventilació
140616 a 140701	6	xapa	Revsun metal	Algeco millorada	Clima. <b>Ha fallat aire</b>
140701 a 140731	7	xapa	Revsun metal	Algeco millorada <b>error sondes: no dades</b>	Clima: <b>dades dispars amb el que s'esperava</b>
140731 a 140806	8	xapa	Revsun metal	Algeco millorada	Clima:
140806 a 140829	9	flexbrick	Revsun metal	Algeco millorada	Regim lliure
140829 a 150112	10	flexbrick	Revsun metal	Algeco millorada	Règim lliure
150112 a 150119	11	flexbrick	Revsun metal	Algeco millorada	calefacció
150119 a 150209	12	flexbrick	Revsun metal	Algeco millorada	calefacció

El comportament i els diferents resultats que es van obtenint s'explicaran seguint cronològicament cada una de les etapes, de la 1 a la 12.

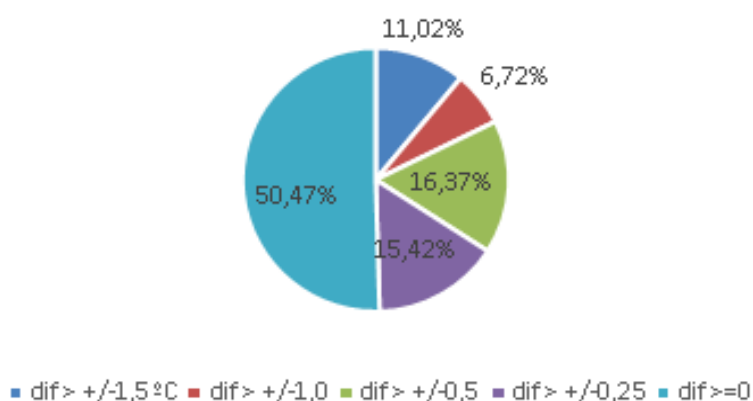
## ETAPA 1: 140317 A 140331. VERIFICACIÓ DEL FUNCIONAMENTS DELS MÒDULS

Etapa 1: del 17 al 31 de març de 2014

Era necessari analitzar quin grau de similitud inicial hi havia entre cada un dels mòduls. Altre cop ens trobem davant un tipus constructiu amb molt poca massa, i per tant, on les infiltracions d'aire poden ser determinants en el comportament dels mòduls.

Des del 17/03/14 al 31/03/14, els tres mòduls es van mantenir en règim lliure. Les diferències absolutes de temperatures entre els tres mòduls i els tres canals 1, 2 i 3 s'exposa en les gràfiques i taules següents (gràfica 6.01):

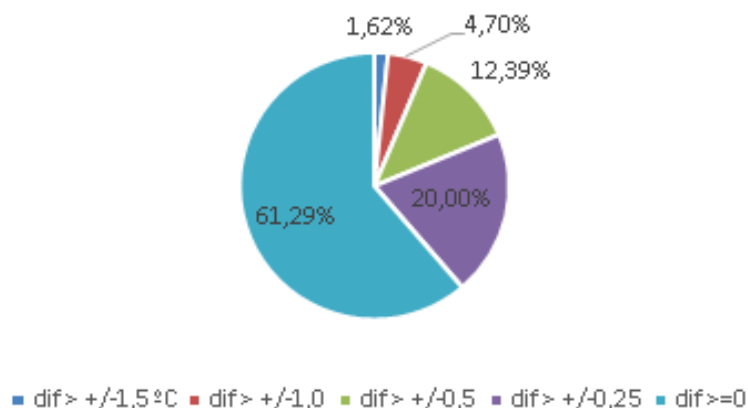
diferències de valors en cada mòdul. canal 1



11.02%	dif > +/-1,5°C
6.72%	dif > +/-1,0
16.37%	dif > +/-0,5
15.42%	dif > +/-0,25
50.47%	dif >=0
100.00%	

82,26% de resultats tenen una diferència inferior a 0,5°C

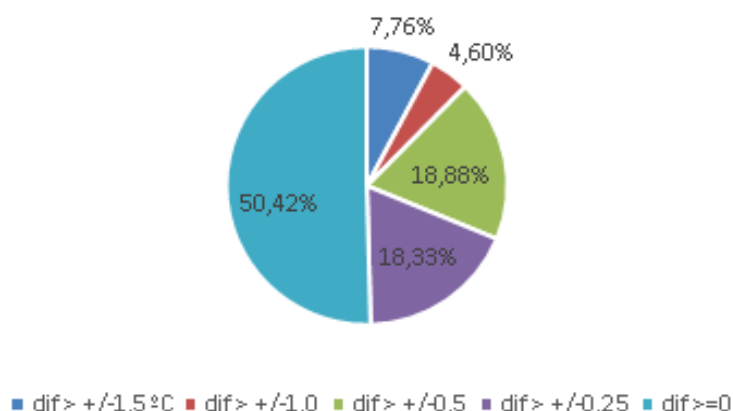
diferències de valors en cada mòdul. canal 2



1.62%	dif > +/-1,5°C
4.70%	dif > +/-1,0
12.39%	dif > +/-0,5
20.00%	dif > +/-0,25
61.29%	dif >=0
100.00%	

93,68% de resultats tenen una diferència inferior a 0,5°C

diferències de valors en cada mòdul. canal 3



Gràfica 6.01.

Font: OMR

7.76%	dif > +/-1,5°C
4.60%	dif > +/-1,0
18.88%	dif > +/-0,5
18.33%	dif > +/-0,25
50.42%	dif >=0
100.00%	

87,63% de resultats tenen una diferència inferior a 0,5°C

Tal i com es veu les variacions són prou petites com per considerar que els comportaments i característiques de les tres construccions són prou similars per validar posteriorment els resultats que obtindrem. En els tres canals les diferències de les temperatures mesurades per les sondes són inferiors en 0,5°C almenys en un 80% dels valors (canal 1: 82,26%, canal 2: 93,68% i canal 3: 87,63%)

## ETAPA 2: 140331 A 140414. FUNCIONAMENT DELS COMPTADORS ELÈCTRICS.

Etapa 2 del 31 de març al 14 d'abril de 2014

En la etapa 2, es van provar el funcionament dels comptadors elèctrics. Durant el període comprés entre les dates 31/03/14 i el 14/04/14, els aparells d'A/C dels tres mòduls es van deixar en posició de ventilació. En aquest cas interessava avaluar si la despesa energètica de les bombes de calor tenia un consum similar. Els comptadors es van connectar de forma que mesuren únicament el consum de la bomba de calor. Passats uns dies amb els ventiladors en marxa es varen tornar a prendre les mesures. La diferència dels dos valors serà el consum.



Imatge 6.14. Comptadors elèctrics del mòdul 0,1 i 2.

Font: OMR

Mòdul	Lectura:	Consum:	Diferència:	Percentatge
	31/03/14	14/04/14		
Mòdul 0	3.774 Kwh	3.818 Kwh	44 Kwh	97,78%
Mòdul 1	6.482 Kwh	6.527 Kwh	45 Kwh	100%
Mòdul 2	20.270 Kwh	20.317 Kwh	47 Kwh	104,44%

Els tres aparells d'aire (funció ventilador) han funcionat ininterrompudament i els comptadors d'energia han comptabilitzat la despesa energètica. La diferència en el consum no queda justificada per irregularitats en la construcció, tal com s'ha vist en el punt anterior les lectures de temperatura eren prou similars. De totes maneres, aquesta variació en cap moment suposa més d'un  $\pm 5\%$ . Una hipòtesi seria que les màquines de clima no tenen una eficiència igual i que la màquina del mòdul 0 és més eficient que les altres.

De totes maners es proposen una sèrie de comprovacions i d'exercicis entre els valors obtinguts (temperatures  $^{\circ}\text{C}$ - i despesa energètica- KWh-) per tal de comprovar si hi ha desviacions injustificades.

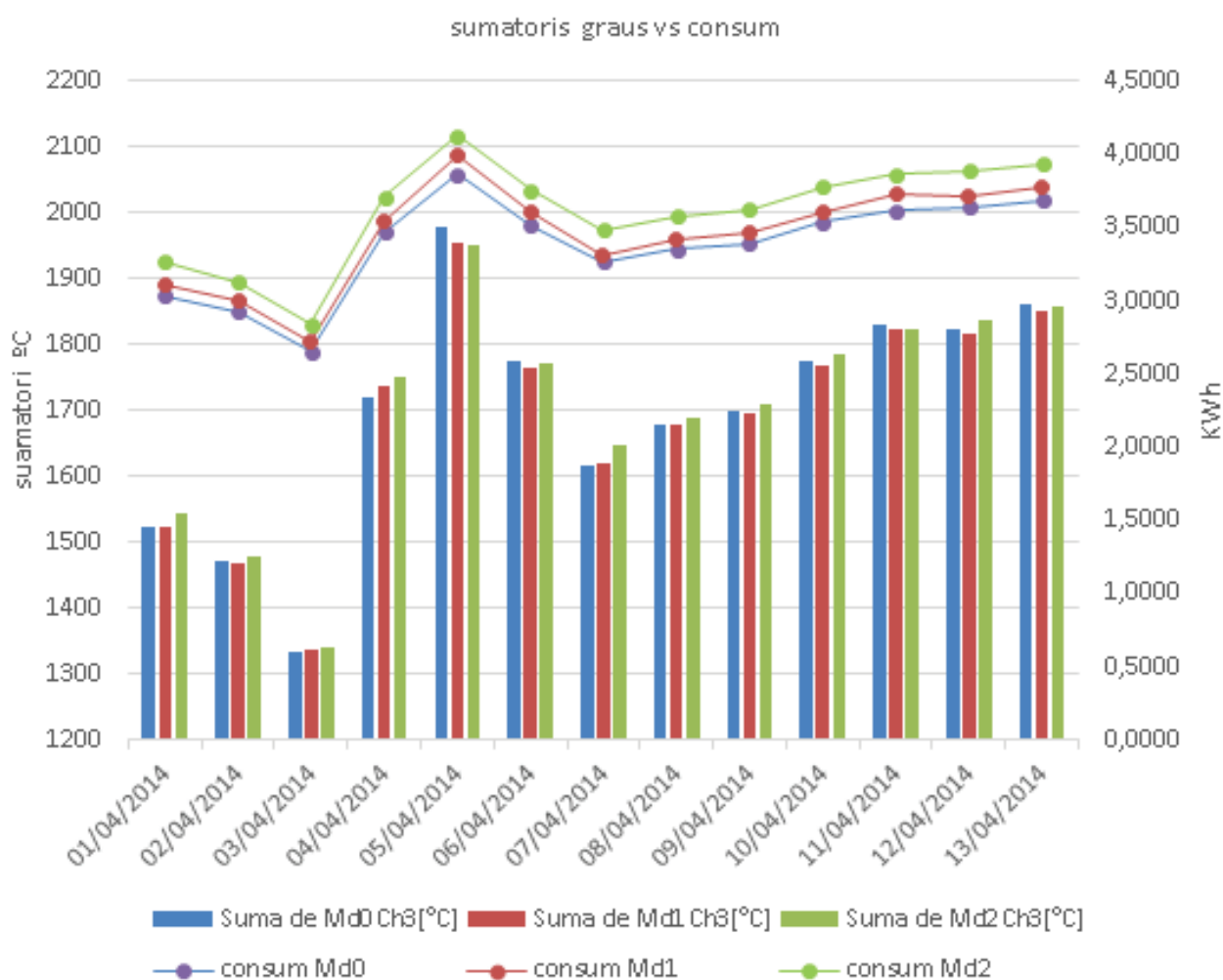
Es tracta de comparar les temperatures interiors dels tres mòduls amb la despesa energètica de cada un d'ells. (taula 6.00). El primer que es fa és un sumatori diari de les temperatures mesurades pel canal 3 (a l'interior del mòdul). Aquesta es reparteix percentualment al llarg dels 14 dies de la etapa. En la mateixa proporció es reparteix el consum mesurat en el mateix període de temps. La taula següent ho mostra:

	Suma de Md0C-h3[ $^{\circ}\text{C}$ ]	Suma de Md1C-h3[ $^{\circ}\text{C}$ ]	Suma de Md2C-h3[ $^{\circ}\text{C}$ ]	% Md0	% Md1	% Md2	Consum Md0	Consum Md1	Consum Md2
01/04/2014	1523.4	1522.3	1543.2	6.90	6.91	6.96	3.0345	3.1083	3.2692
02/04/2014	1470.9	1469.4	1477.3	6.66	6.67	6.66	2.9298	3.0002	3.1296
03/04/2014	1332.8	1336.2	1340.5	6.03	6.06	6.04	2.6585	2.7283	2.8398
04/04/2014	1719.2	1738	1749.9	7.78	7.89	7.89	3.4705	3.5487	3.7071
05/04/2014	1980.5	1954.6	1950.6	8.97	8.87	8.79	3.8685	3.9909	4.1323
06/04/2014	1775.6	1765.6	1773.5	8.04	8.01	7.99	3.5173	3.6050	3.7571
07/04/2014	1616.6	1620.2	1646.3	7.32	7.35	7.42	3.2650	3.3082	3.4876
08/04/2014	1679.8	1678.4	1690.4	7.60	7.62	7.62	3.3525	3.4270	3.5810
09/04/2014	1699.9	1696.6	1710.7	7.70	7.70	7.71	3.3927	3.4641	3.6240
10/04/2014	1775.4	1767.8	1784.8	8.04	8.02	8.04	3.5397	3.6095	3.7810
11/04/2014	1830.9	1823.4	1784.8	8.29	8.27	8.22	3.6182	3.7230	3.8649
12/04/2014	1824	1815.9	1835.8	8.26	8.24	8.27	3.6408	3.7077	3.8891
13/04/2014	1860.2	1850.8	1858.6	8.42	8.40	8.38	3.6860	3.7790	3.9374
tot. general	22089.2	22039.2	22186	100	100	100	44.00	45.00	47.00

**Taula 6.00.**  
Font: OMR

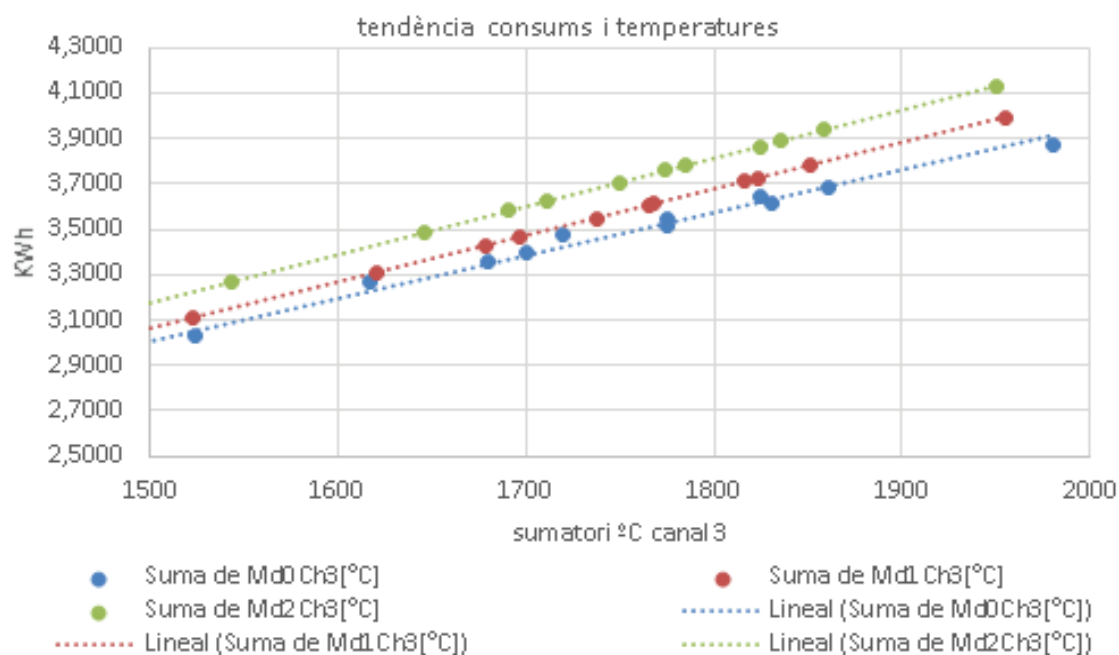
La primera gràfica 6.02 que es proposa és comparar els sumatoris de °C i els percentatges d'energia consumida.

El primer que es pot apreciar és la no coincidència dels sumatoris més alts amb els consums més alts. Per exemple, referit al 5/4/2015 de la gràfica 6.02, el Md 0 és el que té un sumatori de °C major, i en canvi el que menys consum ha tingut. Això podria explicar-se justificant que com menys energia dedicada a ventilar, major es la temperatura. O sigui, el ventilador del mòdul 1 té una capacitat de ventilar inferior i conseqüentment menys despesa elèctrica. Però, en canvi aquesta explicació no és vàlida per els dies 4/04 i 6/04 en els que s'inverteix i el mòdul amb els sumatori de temperatures més alt és el que més consum ha tingut. (mòdul 2)



Gràfica 6.02.  
Font: OMR

En paral·lel es planteja contrastar cada sumatori de temperatures amb l'energia consumida en aquell dia.

**Gràfica 6.03.**

Font: OMR

La gràfica que se'n deriva, 6.03, amb el sumatori de °C en els ordenades i l'energia en les abscisses, es determina l'energia consumida per cada dia. El resultat son tres rectes, aproximadament paral·leles. Per tant la relació entre consums i sumatoris de graus són proporcionals en cada un dels mòduls. Per tant sí que podríem deduir que, donat que en l'etapa anterior el comportament dels mòduls era molt similar, que aquesta diferència de consum, depèn sobretot de rendiments diferents per a cada una de les màquines.

Cal recordar que la despesa energètica s'ha repartit percentualment dia a dia en funció de la temperatura assolida, i per tant, és lògic que la forma de la gràfica sigui una recta. A més a més, com que el consums no han estat iguals, l'alçada de les rectes (respecte les abscisses) és diferent.

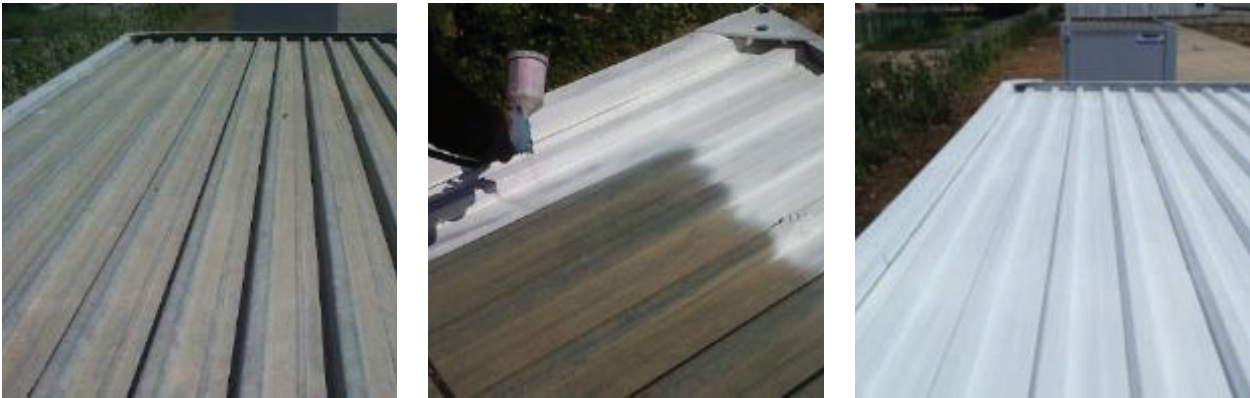
Si la hipòtesi de la diferent eficiència per a cada mòdul és certa, haurem de considerar aquest fet per a futurs experiments, ja que no donarà validesa als consums, almenys per refrigerar.

### ETAPA 3: 140414 A 140428. IMPLEMENTACIÓ DE COBERTA FRESCA EN MÒDUL 1

Etapa 3. Del 14 al 28 d'abril de 2014 els mòduls es deixen en règim lliure.

El dia 28 d'abril es pinta la coberta del mòdul 1 amb REVSUN FERCOAT (primera capa) i REVSUN METAL (segona capa), totes dues de color blanc. En les imatge 6.15 es veu l'estat inicial, el procés i l'estat final.





**Imatge 6.15.** Procés de pintat de la coberta: estat inicial i estat final.  
Font: OMR

Durant el procés de pintat, es van controlant les temperatures de les cares superiors i inferiors de la coberta, sondes 1 i 2 respectivament.

A les imatges 6.16 es relata quina és la seqüència de temperatures al mòdul 1. Previ a pintar, les temperatures de tots tres mòduls eren les mateixes: 43 °C a sobre i 26,5°C a sota (canal 1 i 2 respectivament). Durant el procés de pintat la temperatura de la cara superior de la coberta, sonda 1, va anar descendint. La de la cara inferior, inicialment estava molt més calenta que la del mòdul 0 per que durant les feines de preparació es mantenia la porta oberta (veure imatge 6.16). Just acabada de pintar la coberta, i mentre aqueta encara estava assecant-se –efecte evaporatiu–, la temperatura mesurada pel canal 1 (superior) va baixar fins a 17.7°C. Això és 25,6°C menys! (veure gràfic 6.04).



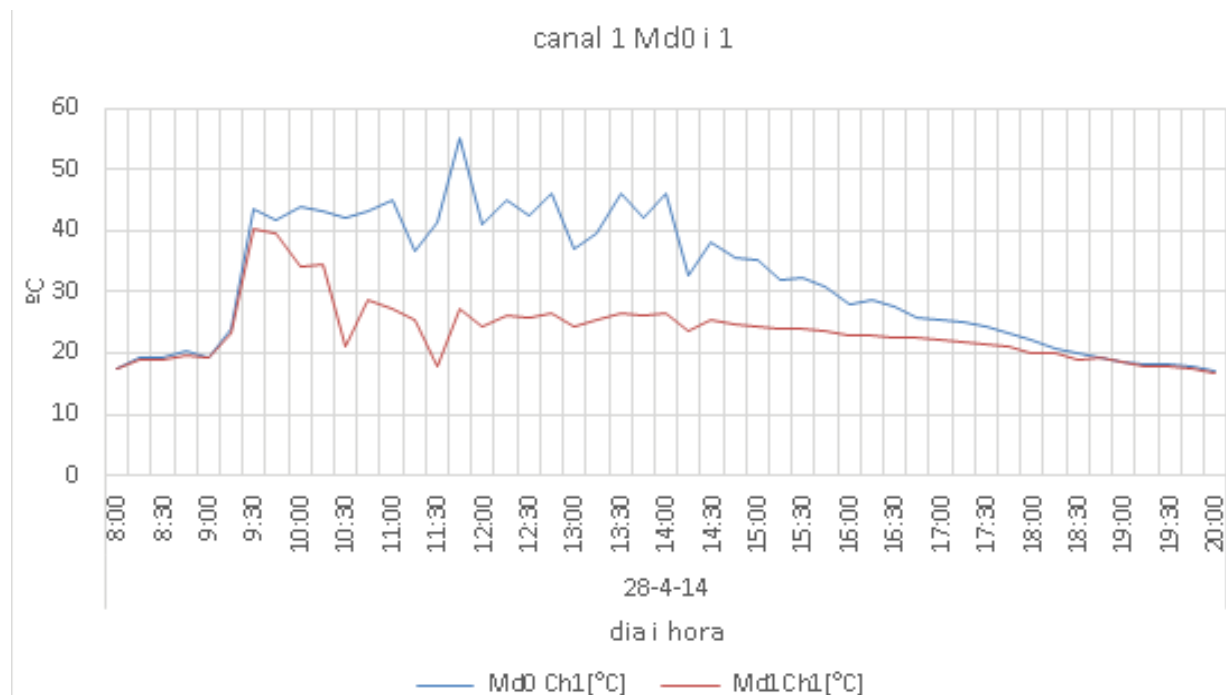
Mòdul 0:  
Hora aprox. 11'00  
Ch1 1: 43,30°C  
Ch2 2: 26,50 °C

Mòdul 1:  
Hora aprox. 11'30  
Ch1: 34,60 °C  
Ch2: 31.10 °C

Mòdul 1:  
Hora aprox. 12'30  
Ch1: 21,20°C  
Ch2: 30.40°C

Mòdul 1:  
Hora aprox. 13'30  
Ch1: 17.70°C  
Ch2: 28.10°C

**Imatge 6.16.** Evolució de les temperatures superficials del sostre durant el procés de pintat  
Font: OMR



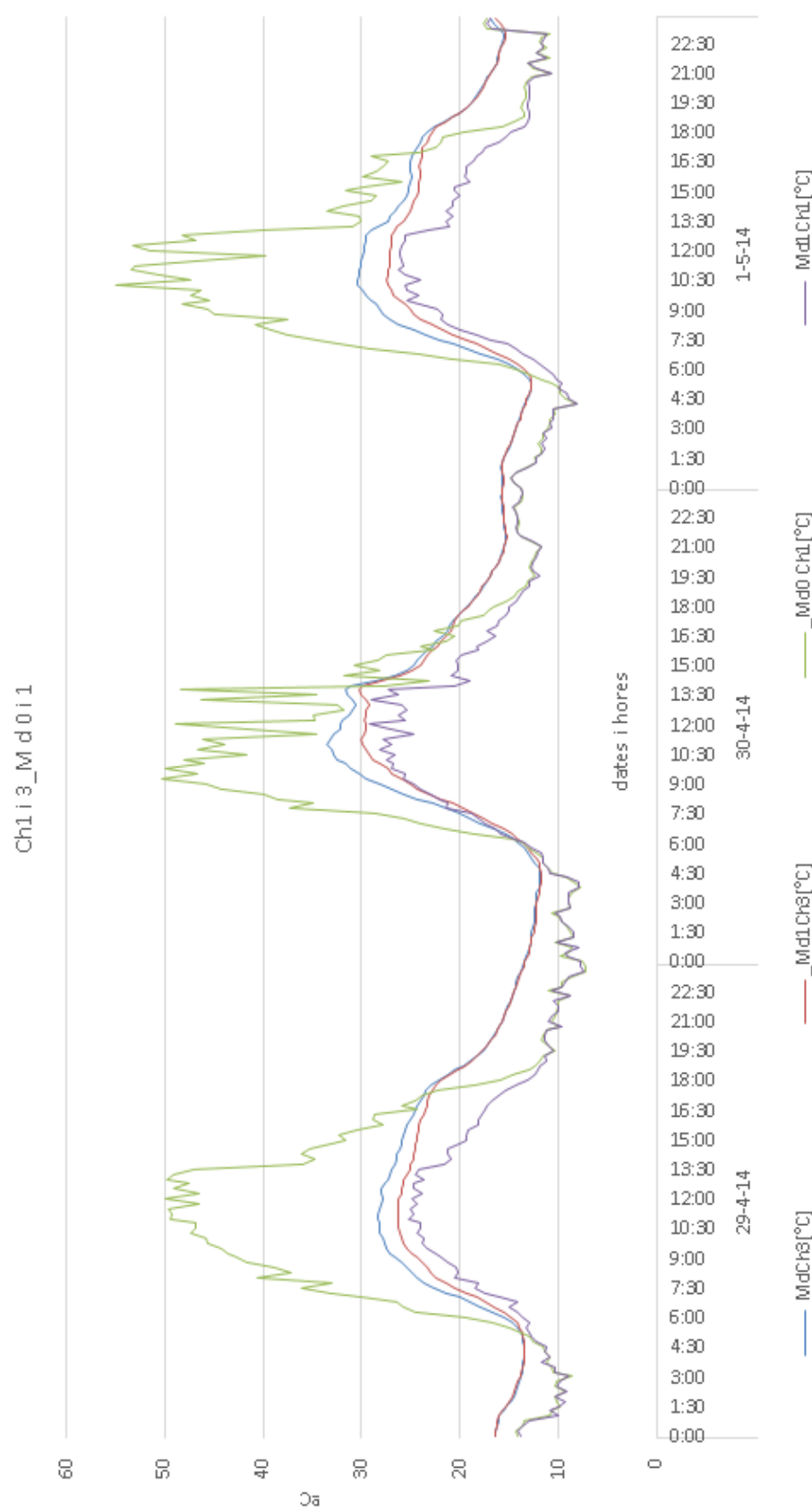
**Gràfic 6.04.** Nota: l'hora de la gràfica és la solar

Font: OMR

El següent gràfic 6.05 relaciona el Md0 i Md1 i mostra quin comportament tenen les temperatures del canal 1 i del canal 3 els dies posteriors a ser pintada la coberta del mòdul 1. El canal 1 es manté a temperatura molt més baixa, amb diferències de fins a 25°C. A l'interior del mòdul 1 les temperatures també es mantenen més baixes.

Cal remarcar també que les temperatures superficials exteriors del mòdul 1, són inferiors a les interiors de tots dos mòduls. Això és degut a la incidència que té la radiació solar que entra per la finestra i escalfa l'interior del mòdul.

Aquest comportament és semblant en els dies posteriors.



Gràfic 6.05.  
Font: OMR

Aquesta gràfica última la podem interpretar també amb percentatges entre el sumatori de temperatures del mòdul 0 (ALGECO) i el del mòdul 1 (ALGECO REVETON). En la taula 6.01, es pot observar que pel simple fet de modificar el color de la coberta les temperatures es mantenen un 4,71% (contemplant les 24h) i un 7,02% (en horari escolar) inferiors en el mòdul 1. A més a més en aquest cas sí tenim una carrega important, que és la radiació solar que entra per la finestra. I els valors de la taula són el pro mig, els moments de màxima diferència s'arriba a un 15%.

			% ALGECO Md0/ALGECO REVETON Md1
29/04/2014	1/05/2014	24h	-4.71%
29/04/2014	1/05/2014	8,00 a 18,00h	-7.02%

**Taula 6.01.** Percentatges respecte el mòdul ALGECO bàsic

Font: OMR

## ETAPA 4: 140428 A 140512. IMPLEMENTACIÓ DE COBERTA ALGECO MILLORADA EN EL MÒDUL 2

Etapa 4 del 28 d'aril al 12 de maig de 2014.

El dia 8 de maig de 2014, es va procedir a modificar el revestiment de la coberta del mòdul 2. En aquest es va construir una coberta alternativa que proposa ALGECO quan cal, o bé augmentar l'aïllament tèrmic (tan sigui per fred o calor) o quan la precipitació del lloc on hi ha el mòdul és molt alta i es combina amb actes vandàlics que taponen els baixants (recordo que són quatre tubs de d50mm situats als quatre vèrtex de la coberta del mòdul). Aquesta coberta l'anomenarem a partir d'ara Algecoplus o Algeco millorada

La solució proposada es compon de una manta de fibra de vidre de 80 mm, col·locada directament sobre la coberta bàsica i recoberta per una nova xapa metàl·lica, amb una sola pendent, i rematada en el perímetre per unes xapes en L cargolades a l'estructura (Imatge 6.17).

Aquesta solució ha de ser muntada un cop el mòdul ha estat instal·lat en la seva situació final. Això és degut a que els quatre punts de fixació per elevar la construcció queden tapats per la xapa addicional. Evidentment també cal que sigui desmuntada prèviament a ser moguts els mòduls per retirar l'edifici. Són feines que cal executar en el lloc mateix i que desvirtuen el concepte de construcció modular i ràpida que promou ALGECO.



**Imatge 6.17.** A i a l'esquerra coberta original i a la dreta imatge de la solució ALGECOPLUS.

**Font:** OMR

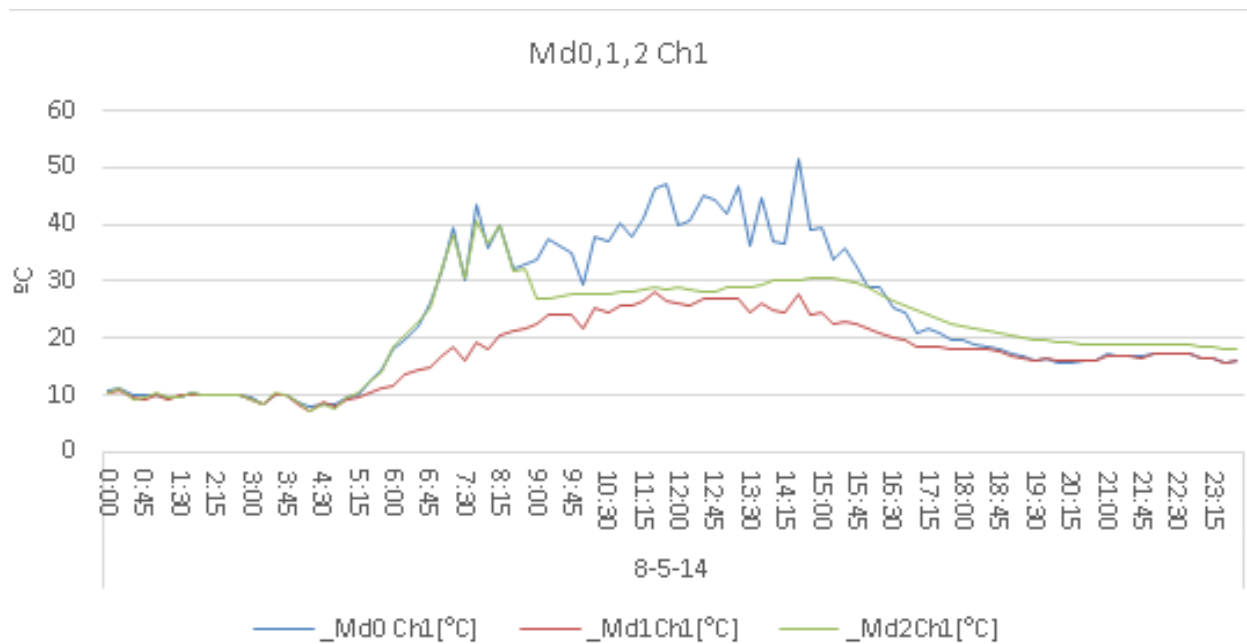
El comportament tèrmic en coberta d'aquesta millora, queda descrita en els gràfics 6.06 i 6.07 següents.

Al gràfic 6.06 és veu com a partir de les nou del matí la temperatura superficial del mòdul 2 comença a ser inferior a la del mòdul 0. Malgrat tot no aconsegueix ser inferior a la del mòdul 1.

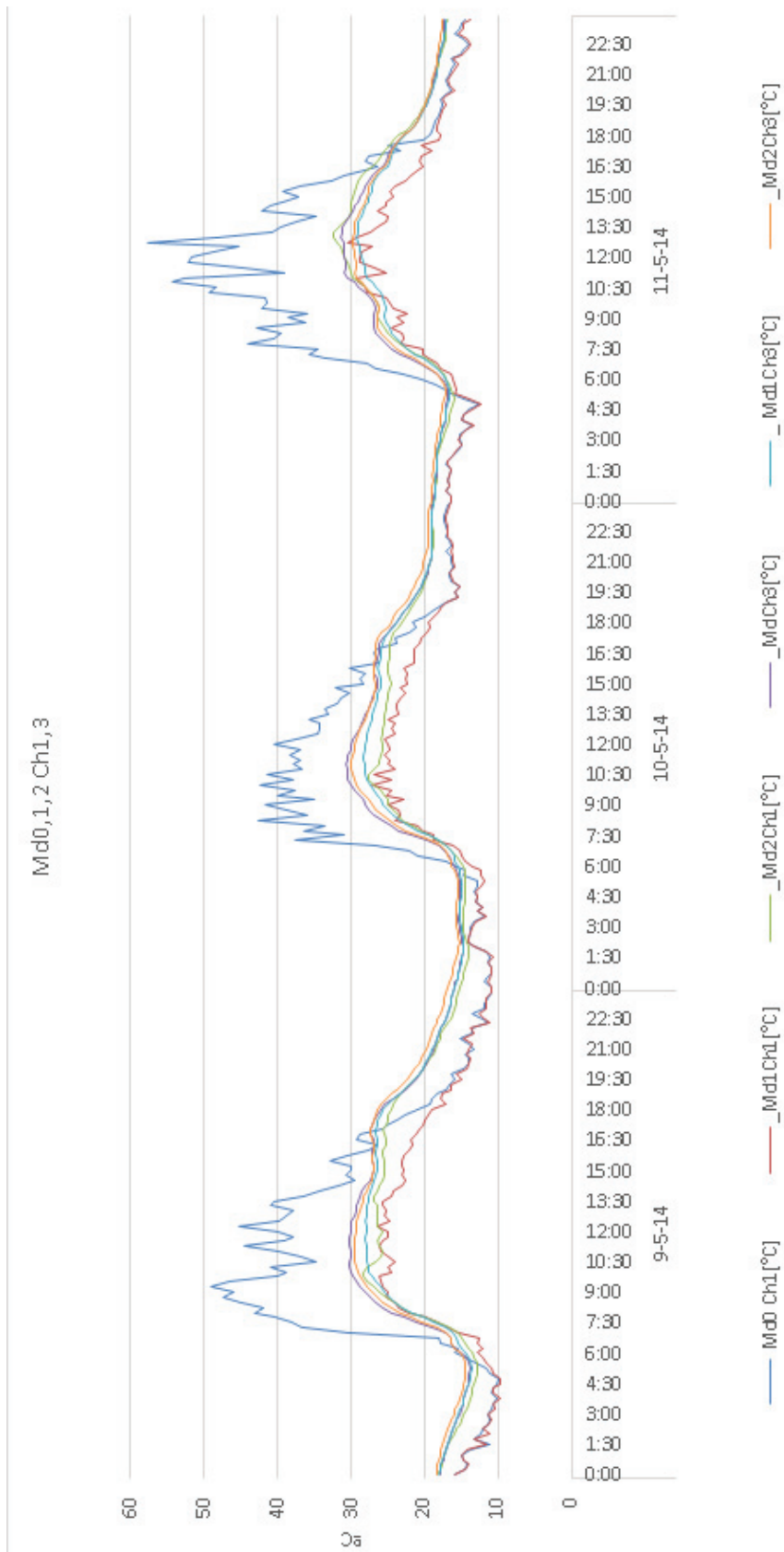
A més a més, respecte les corbes del canal 1 del mòdul 2, hi ha dos efectes que cal remarcar:

- Es refreda molt més lentament.
- La corba comença a ser molt més arrodonida, queda menys afectada pels canvis bruscs de radiació com passa en els altres dos mòduls.

Tots dos efectes són deguts al fet que la sonda 1 ha quedat entre la coberta original i la millorada, és a dir, per sobre d'ella hi té una manta de llana de roca i un xapa.

**Gràfic 6.06.****Font:** OMR

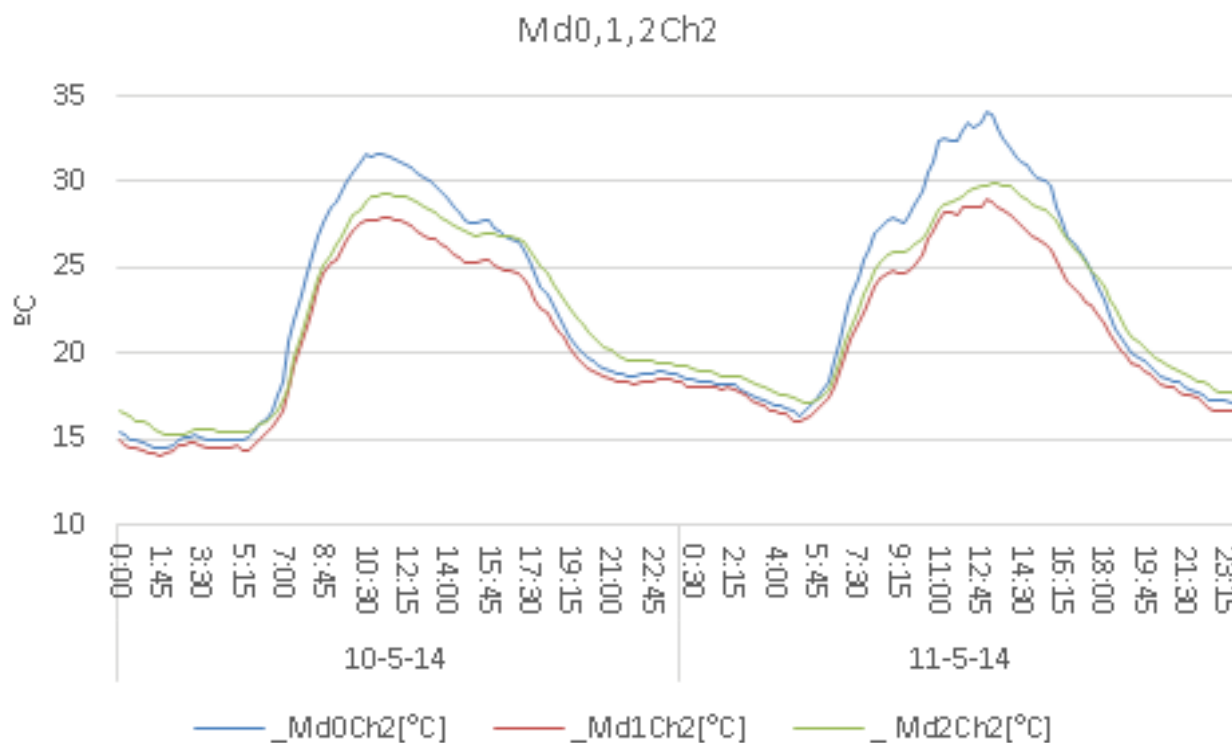
El gràfic 6.07 representa els tres dies següents al muntatge i el comportament de: Md 0 amb la solució original, Md1 pintat blanc i Md2 amb ALGECOPLUS. Igual que en el gràfic anterior, la temperatura que es manté més baixa durant les hores de sol és la superficial (Canal 1) del Md1. Com ja s'ha dit és conseqüència dels guanys solars a través de les obertures del mòdul (situades a sud i sense protecció solar) el que provoca que els canals 2 i 3 estiguin a temperatures superiors.



**Gràfic 6.07.** Canals 1, 2 i 3 del mòduls 0,1,2 del 9 a 11 de maig de 2014  
**Font:** OMR



Cal destacar que les temperatures més baixes durant les hores nocturnes són les exteriors dels mòduls 0 i 1, ja que són els punts on més facilitat tenen per radiar calor a l'espai. Aquest efecte hauria d'ajudar a un millor refredament del mòdul. Per tal de constatar aquest efecte, ens centrarem en el dia 10 i 11/5/14 i en el Ch2, veure el gràfic 6.08



**Gràfic 6.08.** Canals 2 del mòduls 0,1,2 del 10 i 11 de maig de 2014

Font: OMR

Tal i com es preveia, les temperatures superficials interiors dels sostre en hores nocturnes, són més baixes en els mòduls 0 i 1. En canvi durant els dia són inferiors les del 1 i 2. De totes maneres cal destacar els valors del Md1 (coberta pintada blanca), aquests són durant tot el dia les temperatures superficials que aconseguixin mantenir-se més baixes.

**Aquest efecte queda palès en la taula 6.02. Els percentatges de millora respecte la solució convencional d'ALGECO. Quan comparem amb període de 24 hores, la solució d'ALGECO millorada, no resulta millor que la d'ALGECO convencional. Això és per la càrrega de sol que entra per la finestra i la dificultat que té per a ser evacuada durant la nit.**

**Durant el període escolar (de 8:00 a 18:00) la solució ALGECO MILLORADA, funciona millor, o sigui, aconseguim mantenir l'interior més fresc. Amb la solució ALGECO REVETON s'aconsegueix fins a un 5,65% de millora.**

			% ALGECO Md0/ALGECO REVETON Md1	% ALGECO Md0/ ALGECO plus Md3
09/05/2014	11/05/2014	24h	-3.60%	0.21%
09/05/2014	11/05/2014	8,00 a 18,00h	-5.65%	-1.78%

**Taula 6.02.** Percentatges respecte el mòdul ALGECO bàsic de les solucions ALGECO REVETON millorada  
**Font:** OMR

## ETAPA 5: 140512 A 140616.

Etapa 5. Del 12 de maig al 16 de juny de 2014

Aquesta etapa es deixen els tres mòduls Md0 ,1 i 2 en règim de ventilació (Imatge 6.18). Les dades obtingudes en aquest període serviran per estudiar quin comportament té cada mòdul respecte variables de confort climàtic i fer hipòtesis del possibles consums energètics associats que generarà cada solució per assolir la temperatura de consigna.

Es decideix deixar en règim de ventilació (només efecte ventilador sense refredar) per tal de mitigar en certa manera la impossibilitat de ventilar en les hores nocturnes i millorar l'evacuació de calor. Lògicament la despesa energètica hauria de ser molt similar en cada cas, ja que no es regula per una temperatura sinó només per un grau de ventilació.

La posició de l'aparell de clima és:



**Imatge 6.18.** Posició de ventilador Low fan  
**Font:** OMR



Mòdul 0. 3818kwh



Mòdul 1. 6527kwh



Mòdul 2. 20317kwh

**Imatge 6.19.** Valors inicials dels comptadors elèctrics

Font: OMR

En aquest punt és vol avaluar quina incidència pot tenir la coberta fresca en el confort interior. Evidentment, el mòdul també estarà sotmès a la radiació a través de la finestra, per tant seria similar a que a l'interior hi hagués una càrrega tèrmica interna,

El confort ambiental interior es un valor que es difícil de determinar i que depèn de moltes variables. Bàsicament el determina l'intercanvi de calor emès pel propi cos i l'ambient que el rodeja. Les variables principals són la temperatura ambient i la velocitat de l'aire, però com es veurà també es determinant la temperatura dels paraments que rodegen la persona (efecte radiant).

Les proporcions per tal de tenir confort tèrmic, es regulen pels tipus de transferència de calor següents:

40 a 50%	Radiació	degut a la diferència de temperatura entre els cossos
30 a 35%	Evaporació	degut a la calor alliberada a través de la suor i respiració
15 a 20%	Convecció	degut a la temperatura i a la velocitat de l'aire
2 a 5%	Conducció	degut a la diferència de temperatura entre superfícies en contacte

**Font:** Estalvi i eficiència energètica en edificis públics. Col·lecció Quadern Pràctic Número 2. [http://icaen.gencat.cat/web/.content/06\\_relacions\\_institucionals\\_i\\_comunicacio/04\\_publicacions/quadern\\_practic/arxius/02\\_edificis\\_publics.pdf](http://icaen.gencat.cat/web/.content/06_relacions_institucionals_i_comunicacio/04_publicacions/quadern_practic/arxius/02_edificis_publics.pdf)

Com es pot veure a la taula, el percentatge major d'intercanvi de calor del cos humà amb l'ambient que l'envolta és per radiació, o sigui amb els paraments que componen l'espai: terra, sostre i parets.

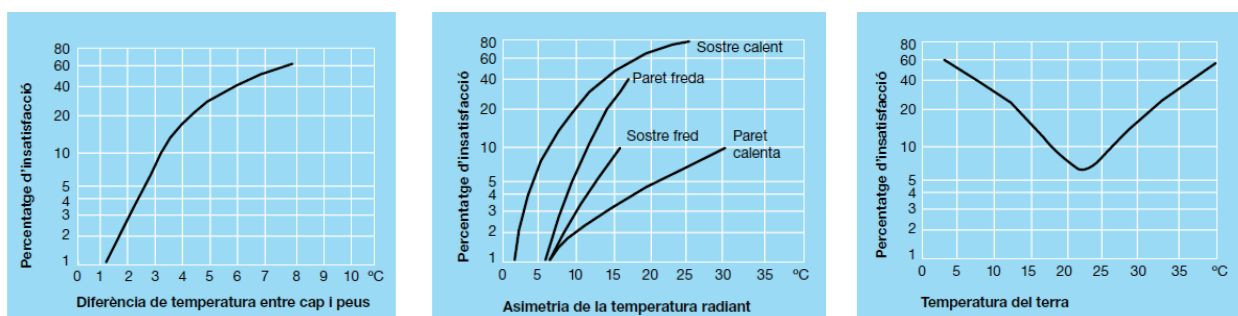
Així la temperatura radiant es defineix com la suma de les temperatures de cada un dels paraments que compona l'espai que rodeja la persona, multiplicada per la superfície aparent de cada un, dividida per la suma de totes les superfícies.

Aquest valor pot tenir tanta importància com la temperatura de l'aire. Així, el valor del que s'anomena la percepció tèrmica és el pro mig de la suma de la temperatura radiant i la temperatura de l'aire (temperatura operativa segons EnergyPlus Engineering Reference):

$$[(sup. paret \cdot T^{a}_{paret} + sup.terra \cdot T^{a}_{terra} + sup.sostre \cdot T^{a}_{sostre}) / sup. parements] + (T^{a}_{aire})/2$$

Un altre motiu d'inconfortabilitat és la diferència o contrast de temperatures entre cada un dels paraments. Per tant serà un objectiu del tècnic projectista intentar mantenir totes les superfícies que envolten els usuaris a temperatures similars.

Els següents quadres mostren els percentatges de gent insatisfeta, degut a la diferència de temperatures superficials entre paraments d'un espai.



**Imatge 6.20.** Influència de diferents variables secundàries al confort tèrmic. Font: Estalvi i eficiència energètica en edificis públics. Col·lecció Quadern Pràctic Número 2  
**Font:** OMR

Així, les temperatures dels paraments (de cada parament i diferències entre elles), la temperatura de l'aire i la transmissió d'energia entre aquests parament i persones que l'habiten serà determinant en la percepció de confort higrotèrmic (veure imatge 6.20).

Llavors, serà interessant saber quin flux de calor emet cada parament cap a l'espai interior.

Per determina la Potència radiada ( $I_{rd}$ ) per un parament utilitzarem la fórmula<sup>3</sup> :

$$I_{rd} = (\Delta Q / \Delta t) = e \cdot S \cdot \sigma (T^4 - T_{int}^4)$$

On:  $e$ : emissivitat del material del sostre

$S$ : superfície ( $m^2$ )

$\sigma$ :  $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$  (és la constant de Stefan –Boltzmann)

$T$ : temperatura del tancament ( $^{\circ}\text{K}$ ) –sonda 2, en el nostre cas-

$T_{int}$ : temperatura interior de la estança ( $^{\circ}\text{K}$ ) –sonda 3, en el nostre cas-

<sup>3</sup> Fórmula que determina la radiació dels objectes i que s'anomena: ley de Stefan-Boltzmann

Amb aquesta obtindrem els guanys totals, deguts a la radiació incident en un parament (en el nostre cas la coberta) cap a l'interior.

En el nostre cas disposem de la T (sonda 2) i de la Tint (sonda 3).

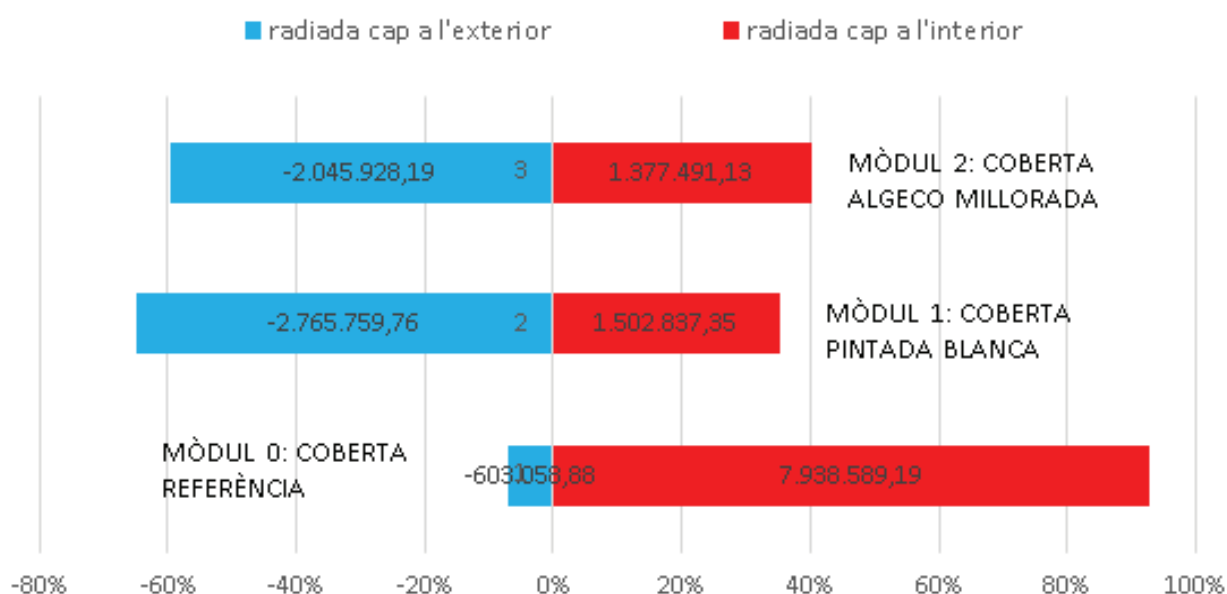
A partir d'aquesta equació l'estudi intenta avaluar, quina quantitat de calor ens arribarà radiada de la coberta en cada un dels casos i determinar si les cobertes fresques, generen un millor confort als ocupants de l'interior de les estances.

Com que tots tres mòduls són iguals tan en la seva geometria, dimensions, materials... a excepció de l'acabat de coberta amb l'exterior, podem prescindir de les variables que són iguals per a cada mòdul, i treballar només amb les que varien en cada mòdul. O sigui les dades de temperatura obtingudes en les sondes 2 i 3.

El primer que ens proposem es quantificar en quina proporció la radiació solar incident sobre cada una de les cobertes és absorbida i posteriorment radiada cap a l'interior.

Ird serà funció de  $(T^4 - T_{int}^4)$ . Si aquest valor és positiu serà que la radiació (o el flux de calor) es del sostre cap a l'ambient interior, en cas de ser negativa voldrà dir que es del sostre cap a l'espai exterior (flux de calor cap a l'espai).

Al gràfic 6.09 s'aprecia com els mòduls 1 i 2 (cobertes millorades: pintura blanca i doblat amb xapa metàl·lica i aïllament respectivament) el percentatge de radiació cap a l'exterior és molt superior que en el mòdul 0. O sigui, s'escalfen menys i per tant, la transferència de calor cap a l'interior és molt inferior.



Gràfic 6.09: Energia absoluta radiada des de el sostre de cada mòdul. (Energia radiada 13-14 juny 2014)

Font: OMR

Els sumatoris de tot el flux de calor que es radia, ja sigui cap a l'interior o l'exterior, es molt diferent en cada un dels mòduls. Tal i com indica la taula 6.03, l'energia que acaba radiant cap a l'interior el mòdul 0 es aproximadament el doble que en els mòduls 1 i 2. Dit en altres paraules, l'energia absorbida per la coberta del mòdul 0 és molt superior a l'absorbida pel mòdul 1 i 2.

	Mòdul 0	Mòdul 1	Mòdul 2
Radiada a l'interior	7.938.589,19	1.502.837,35	1.377.491,13
Radiada a l'exterior	-603.058,88	-2.765.759,76	-2.045.928,19
$\Sigma$ total	8.541.648,07	4.268.597,11	3.423.419,32

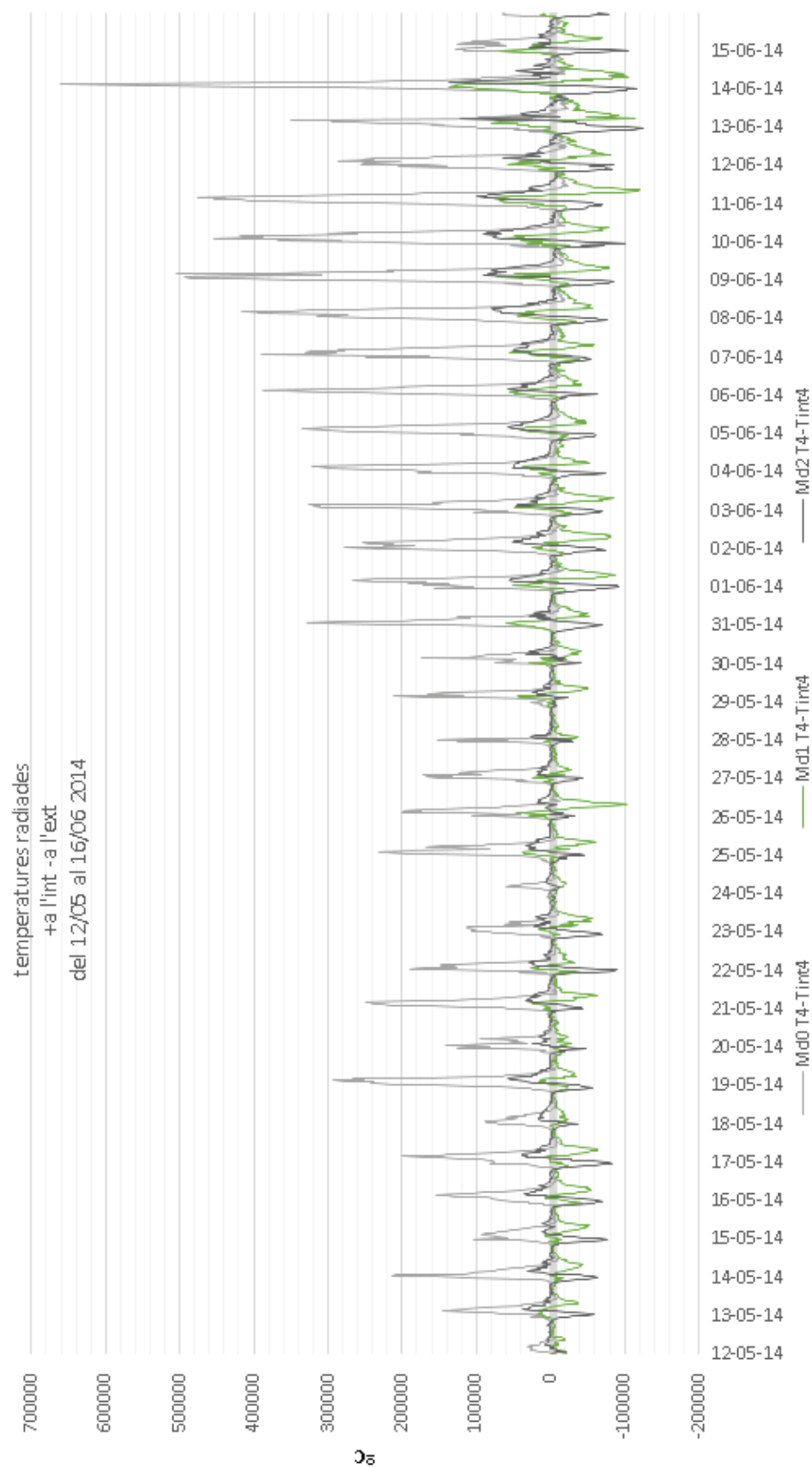
Taula 6.03. Sumatori de valors radiats.

Font: OMR

Entre el mòdul 1 i 2, els valors varien sensiblement. Sembla clar que les estratègies dels mòduls 1 i 2, revestir amb pintura blanca i doblar amb una manta de fibra de vidre addicional sobre la coberta, aconsegueixen frenar l'efecte de la radiació.

Però, on realment hi ha diferència entre els Md1 i Md2 és entre l'energia radiada cap a l'exterior. O sigui quan el flux de calor va de l'interior del mòdul cap a l'espai exterior, per tant el refredament del mòdul. Aquest efecte, pot ser molt favorable a l'estiu, ja que permetrà evacuar calor més ràpidament.

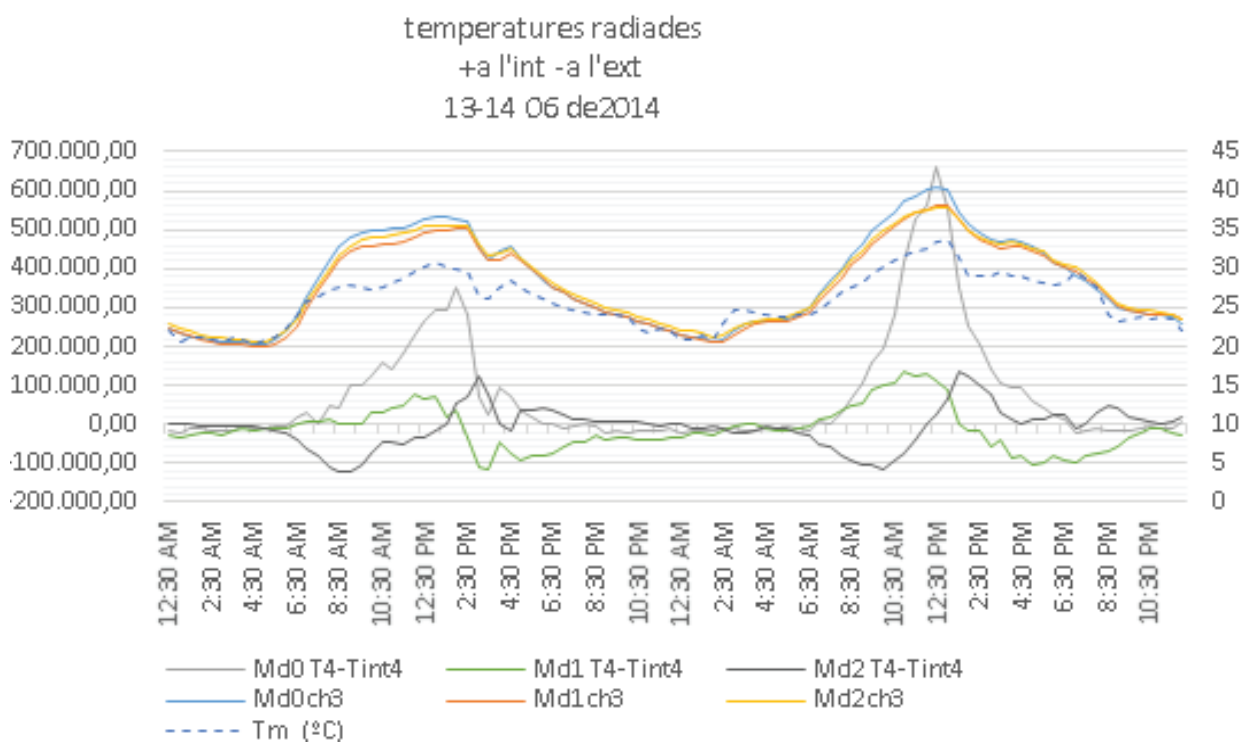
En un gràfic 6.10 amb un període de temps superior (del 12 de maig al 16 de juny del 2014) es pot veure com es repeteix el cicle diari de radiar calor cap a l'interior en horari diürn i exterior en horari nocturn.



**Gràfic 6.10.** Energia radiada des de el sostre de cada mòdul. T=sonda 2 i T<sub>int</sub>=sonda 3  
**Font:** OMR



Cal però identificar amb més precisió en quines franges horàries diàries succeeixen aquests intercanvis de calor. A aquest efecte es compona el gràfic 6.11 sobre 48 hores. En aquest es pot apreciar com el mòdul 0 i 1, tenen una reacció gairebé instantània amb incidència de la radiació solar. En canvi el mòdul 2 té un desfase d'unes 3 hores.



**Gràfic 6.11.** Energia radiada des del sostre de cada mòdul, temperatures interiors (sonda 3) i temperatura ambient.

**Font:** OMR

Entre el mòdul 0 i 1, hi ha una gran diferència entre la intensitat de l'energia radiada (sobretot cap a l'interior), però en canvi es produeix gairebé en el mateix moment en el temps. En canvi entre el mòdul 1 i 2, no hi ha tanta diferència entre l'energia radiada, com en el moment en que es produeix.

Curiosament però, el punt de màxim flux de calor en el mòdul 1 no es produeix en el moment de màxima temperatura interior (canal 3), en canvi si que es dona aquest efecte en el mòdul 2, on coincideixen la màxima temperatura interior amb el màxim flux calorífic.

Per tal de fer palès aquest efecte, al gràfic 6.11 hi ha les tres línies inferiors, amb els fluxos de calor de cada mòdul, les tres corbes superior (contínues) son les temperatures de la sonda 3 i la discontinua es la temperatura exterior.

**Si poguéssim fer extensiu aquestes conclusions, podríem dir que la coberta reflectant cool roof (Md1) comença a radiar calor cap a l'interior abans que la Md2, però tan aviat com la incidència de la radiació solar afluixa (12,00 hora solar, 14:00 hora estàndard), ja es capaç d'evacuar**

calor cap a l'exterior. En canvi, amb la solució ALGECO millorada (Md2) quan a fora hi ha la màxima temperatura (aproximadament les 13-14:00 hora estàndard) el sostre comença a radiar calor cap a l'interior. El disconfort és més alt després del migdia perquè se suma l'efecte de l'elevació de la temperatura de l'aire i l'efecte desfasat del flux radiant cap a l'interior

A nivell de confort es podria traduir en: les hores on l'aire exterior encara es fresc i ens permet ventilar, la coberta fresca ens radia, però ho podem dissipar. Quan la temperatura exterior comença a pujar, a partir del migdia, la coberta fresca ja no radia calor cap a l'interior.

## ANÀLISI DE L'EFICIÈNCIA ENERGÈTICA DE LES COBERTES FRESQUES.

Un cop determinat com i quan radien la calor bé cap a l'interior o bé cap a l'exterior cada solució de coberta, es vol quantificar quin "volum" de calor cal dissipar per tal de mantenir l'interior dels mòduls a la temperatura de confort fixada, en aquest cas a 26°C. El període en que es fan els càlculs és del 12/05/2014 al 16/06/2014.

El que es proposa per tal de quantificar és:

- Suposar una temperatura màxima exterior i una temperatura de confort interior de 26°C.
- Aïllar i sumar els valors de les temperatures dels mòduls quan a l'exterior hi ha una temperatura superior a la fixada (20,23 o 26°C).
- Comptar quina quantitat de valors hem aïllat i sumat. Cada valor equival a mitja hora.
- En aquest cas les temperatures exteriors que hem pres per a l'estudi han estat de 20, 23 i 26 °C.

El quadre que es genera és:

	Md0			Md1			Md2		
	Suma °C	total valors	°C a refrigerar per hora	Suma °C	total valors	°C a refrigerar per hora	Suma °C	total valors	°C a refrigerar per hora
T<20	686,50	25,00	2,92	212,50	8,00	1,13	351,80	13,00	2,12
T<23	6.513,80	231,00	4,40	4.542,10	167,00	2,40	5.100,10	185,00	3,14
T<26	11.296,00	389,00	6,08	8.966,80	319,00	4,22	9.673,50	341,00	4,74

**Taula 6.04.**  
**Font:** OMR

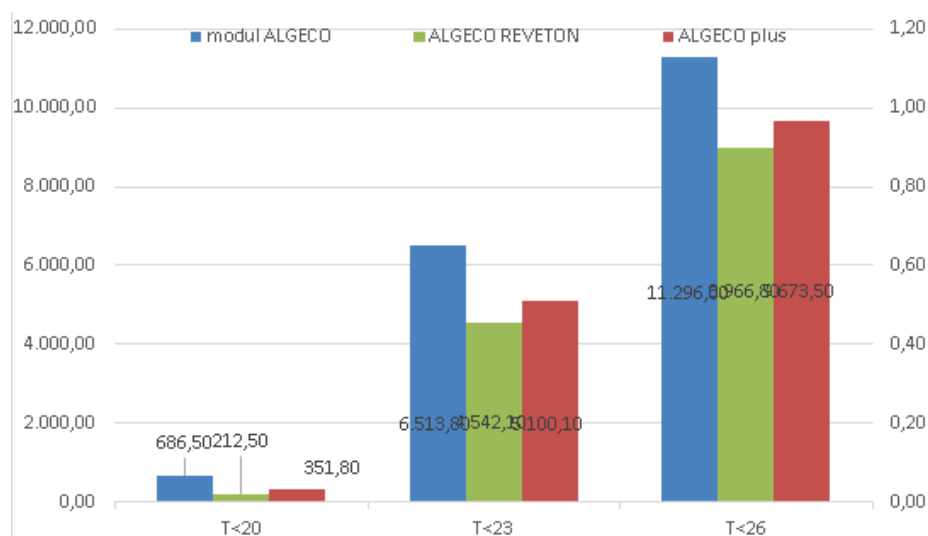
En la taula 6.04 hi tenim els valors per a cada un dels mòduls:

- La primera columna, Suma °C, es el sumatori de valors temperatures de la sonda 3 superiors a 26°C quan a l'exterior hi ha una temperatura inferior a 20°C, 23°C i 26°C.
- La segona columna, total valors, és comptar el nombre de valors sumats a la columna primera.
- I la tercera columna és: el número de la columna primera menys el núm. de la columna segona multiplicat per 26 i es dividit per el numero d'hores del període avaluat. Així doncs el resultat és els graus que cada hora cal disminuir de cada un dels mòduls per mantenir-los a 26° C a l'interior. Aquest valor, lògicament serà proporcional a la despesa energètica que tindria cada un dels mòduls.

Hi ha un tres consideracions que cal tenir presents:

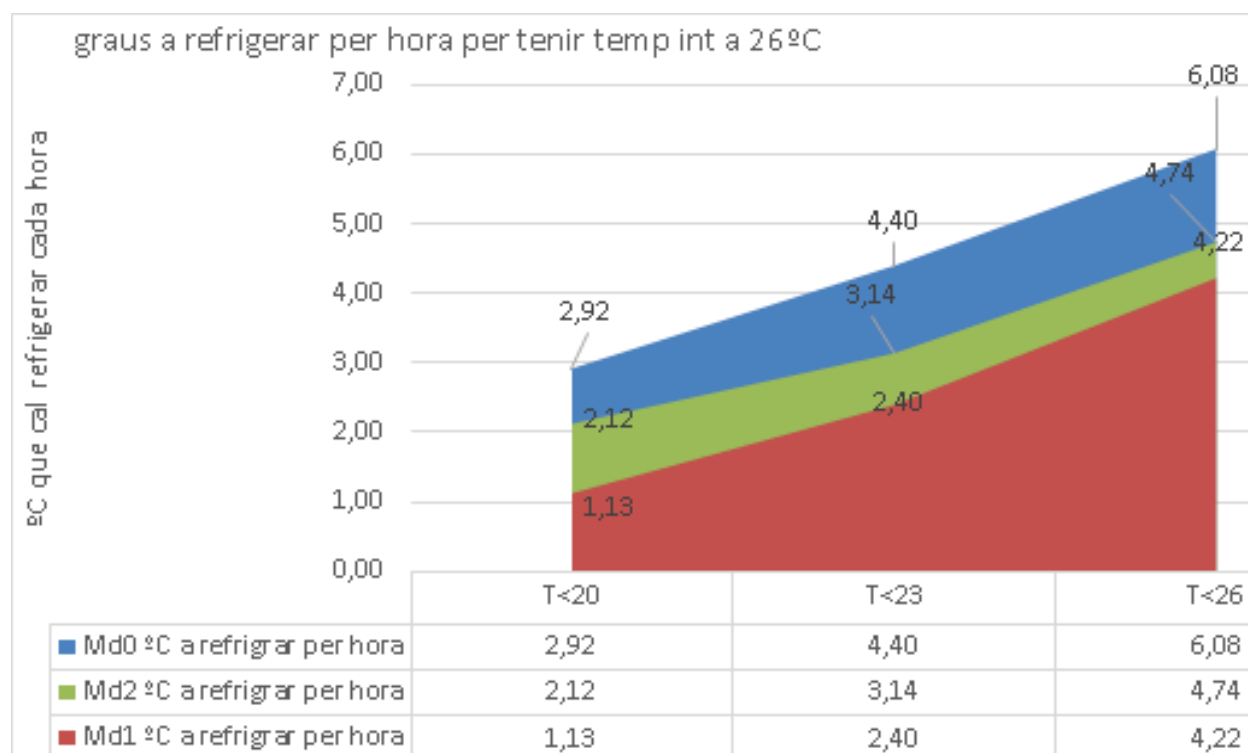
- Primera és que els mòduls estan en règim estacionari i per tant no tenen cap ventilació. Molt probablement els graus a reduir cada hora podrien ser nuls quan la temperatura exterior és inferior a 20 °C.
- Segona es que no hi ha cap càrrega interna. O sigui no hi ha usuaris o maquinària que fessin augmentar la temperatura a l'interior.
- Tercera, hi ha guanys per radiació solar directe a través de la finestra. Hi ha una obertura, orientada a sud sud-est, que no disposa de cap protecció solar, i que per tant, sí aporta uns guanys ,els quals es podrien reduir amb protecció solar.

La gràfica 6.12 representa els dos valors de les dues primeres columnes és:



**Gràfic 6.12.** suma de graus i valors per sobre temperatura de confort, 26°C amb exterior 20, 23 i 26°C  
**Font:** OMR

La gràfica 6.13 representa els valors energètics necessaris per mantenir la temperatura a 26 °C és:



Gràfic 6.13.

Font: OMR

Com veurem més endavant aquestes conclusions contradiuen aparentment els valors de consums de les etapes 8 i 9 compreses dels dies 31 de juliol de 2014 al 29 d'agost de 2014.

## ETAPA 6: 140616 A 140701

Etapa 6. Del 16 de juny al 1 de juliol de 2014

En aquest punt de l'estudi i fent recopilació ens trobem en la situació següent:

- Mòdul 0: coberta convencional ALGECO
- Mòdul 1: coberta pintada blanca amb REVSUN METAL
- Mòdul 2: coberta millorada doblant aïllament i xapa metàl·lica. ALGECO MILLORADA o ALGECO PLUS

Aquesta etapa havia de servir per avaluar quina de les tres solucions requeria de més energia per tal de mantenir la mateixa temperatura durant el tot dia a l'interior del mòdul.

A aquest efecte es va prendre nota del que indicaven inicialment els tres comptadors elèctrics i es va engegar les màquines de clima dels tres mòduls.

Els consums en l'etapa anterior havien estat:

Data	Mòdul 0	Mòdul 1	Mòdul 2
12/05/14	3818 Kwh	6527 Kwh	20317 Kwh
16/06/14	3926 Kwh	6635 Kwh	20426 Kwh
Consum	108 Kwh	108 Kwh	109 Kwh

Tal i com es preveia a l'inici de l'etapa anterior, els consum han estat gairebé iguals, ja que l'únic requeriment de la màquina era ventilar (remoure l'aire interior).

L'aparell de clima es passa de posició ventilació a fred: LOW FAN al SUPER QUITE. (Imatge 6.21)



Imatge 6.21. Posició dels comandaments a la màquina de clima.

Font: OMR

Malauradament, el ICP (interruptor de control de potència) que hi havia en el quadre elèctric d'on penjaven els tres aparells de clima no aguantava la potència dels tres aires i va saltar, fent que durant aquest període els mòduls seguissin en règim lliure. O sigui, els aparells per a refredar no van funcionar.

De totes maneres aquestes dades ens serviran per estudiar i comparar el comportament dels mòduls 1 i 2, i intentar deduir pros i contres de l'aïllament termorefectant versus l'aïllament per conducció.

A aquest efecte es pren el dia més calorós del període, el 26/06/14, i s'analitza, primer com es refreda al llarg de la nit i després com s'escalfa al llarg del dia. Per fer-ho s'han dibuixat dues gràfiques, una

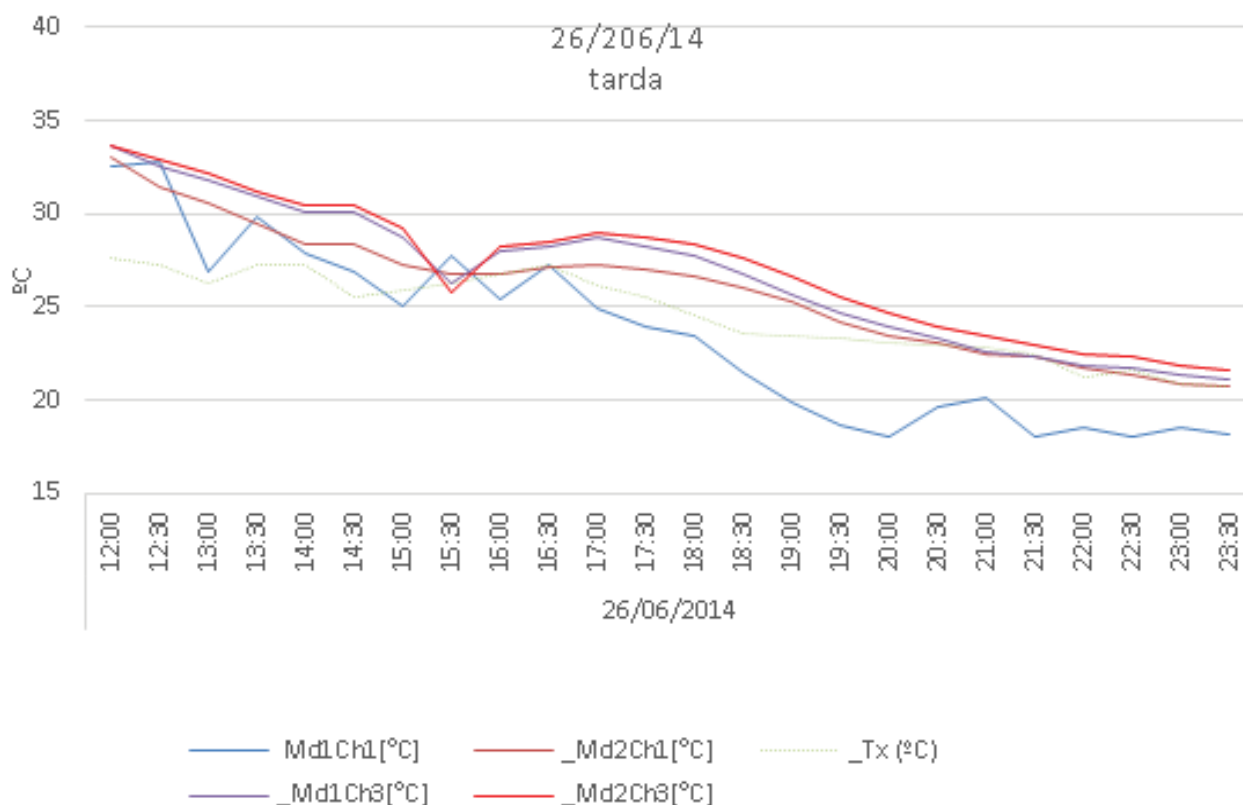
de les 0,0 a les 12,00 (hora solar) i una altre de les 12,00 a les 24,00. En aquestes gràfiques hi ha les corbes de les temperatures del canal 1 i 3. Gràfiques 6.14i 6.15 respectivament.

Al punt de més calor del dia, les 12,00 hora solar, les 14,00 hora oficial, les quatre corbes (canals 1 i 3 dels mòduls 1 i 2) es troben aproximadament a la mateixa temperatura. Les sondes 1 estan lleugerament més fresques, ja que tenen certa capacitat de refrescar-se pel vent en canvi les sondes 3 –interiors- amb una càrrega addicional per radiació directe a través de la finestra són les que mesuren temperatures majors.

A mesura que baixa la radiació solar incident, les corbes de les sondes del Md1 baixen (es refreden) de forma més ràpida que les del Md2

Durant la nit les temperatures s'han anat igualant.

Al matí, la corba que es troba a menor temperatura és la que correspon a al canal 1 del mòdul 1 (ALGECO REVETON), les altres tres es troben lleugerament per sobre. Ara bé així com aquestes tres últimes van escalfant-se progressivament a mida que augmenta la radiació, el canal 1 del mòdul 1 té un comportament molt més exagerat, mimètic a la radiació solar, s'escalfa quan rep radiació directe, però es manté més fresc que tots els altres quan aquesta radiació afluixa.

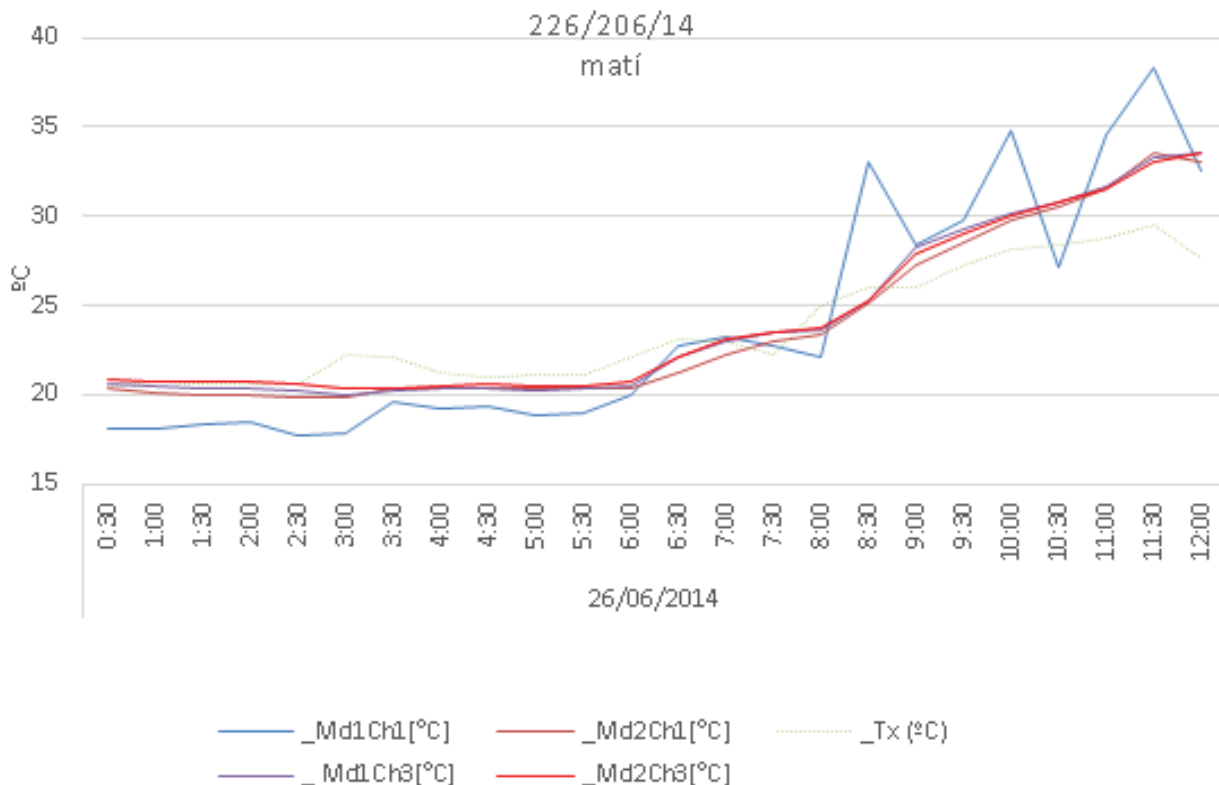


**Gràfica 6.14.**

Font: OMR

Tots dos canals 1 estan per sota la solució adoptada (o REVETON o doblat de 4 cm aïllament de llana de roca –ALGECO MILLORADA) evidentment unes micres de pintura són molt més sensibles que l'aïllament de llana de roca.

Durant el matí, l'escalfament és similar per totes les sondes, a mesura que augmenta la radiació solar, augmenta la temperatura.



**Gràfica 6.15.**  
**Font:** OMR

Pel que ens mostren els gràfics podem interpretar:

1. El comportament de totes dues cobertes pel que fa al canal 3 es força semblant, lleugerament millor el del Md1 que el del Md2.
2. L'escalfament es produeix de manera similar en tots dos mòduls, però en canvi el Md1 li resulta més ràpid i fàcil perdre calor.
3. Els canvis bruscs mesurats pels canal 1 del mòdul 1 són deguts a que està a la intempèrie en canvi el canal 1 del mòdul 2 està entre les capes d'aïllament.



Recapitulant:

- Md2 hi ha 8cm de fibra de vidre i una xapa addicional de coberta de color clar.
- Md1 té 4cm de fibra de vidre i una xapa pintada amb pintura amb alt índex de reflexió i emissivitat.

**Podem dir que els comportament de totes dues cobertes es igual?, Si, tal com mostren les gràfiques és així, podríem parlar que en condicions de calor 4cm de fibra de vidre addicionals més una nova xapa tenen un efecte semblant a una capa de pintura cool roof? És evident que el cost d'una solució i de l'altre no és el mateix i, com s'ha dit anteriorment, la solució de doblar –aïllament i xapa- desvirtua el procés de muntatge del sistema modular.**

## ETAPA 7: 140701 A 140731

Etapa 7. Del 1 de juliol al 31 de juliol de 2014

Durant aquesta etapa, si que es varen deixar les A/C posats per tal de determinar quin consum tenien i quines eren les temperatures efectives a l'interior dels mòduls.

Per desgràcia el datalogger del Md2, es va fer malbé i no ha gravat cap dada.

Malgrat això d'aquesta etapa hi ha una sèrie de dades que ens serveixen per seguir analitzant el comportament de les cobertes fresques en les construccions modulars.

En arribar es fotografien la posició dels comandaments de les màquines de clima, els consums i les temperatures que marquen cada mòdul (Imatge 6.22):



Imatge 6.22.  
Font: OMR

Com es pot veure les dades són les que a continuació es transcriuen:

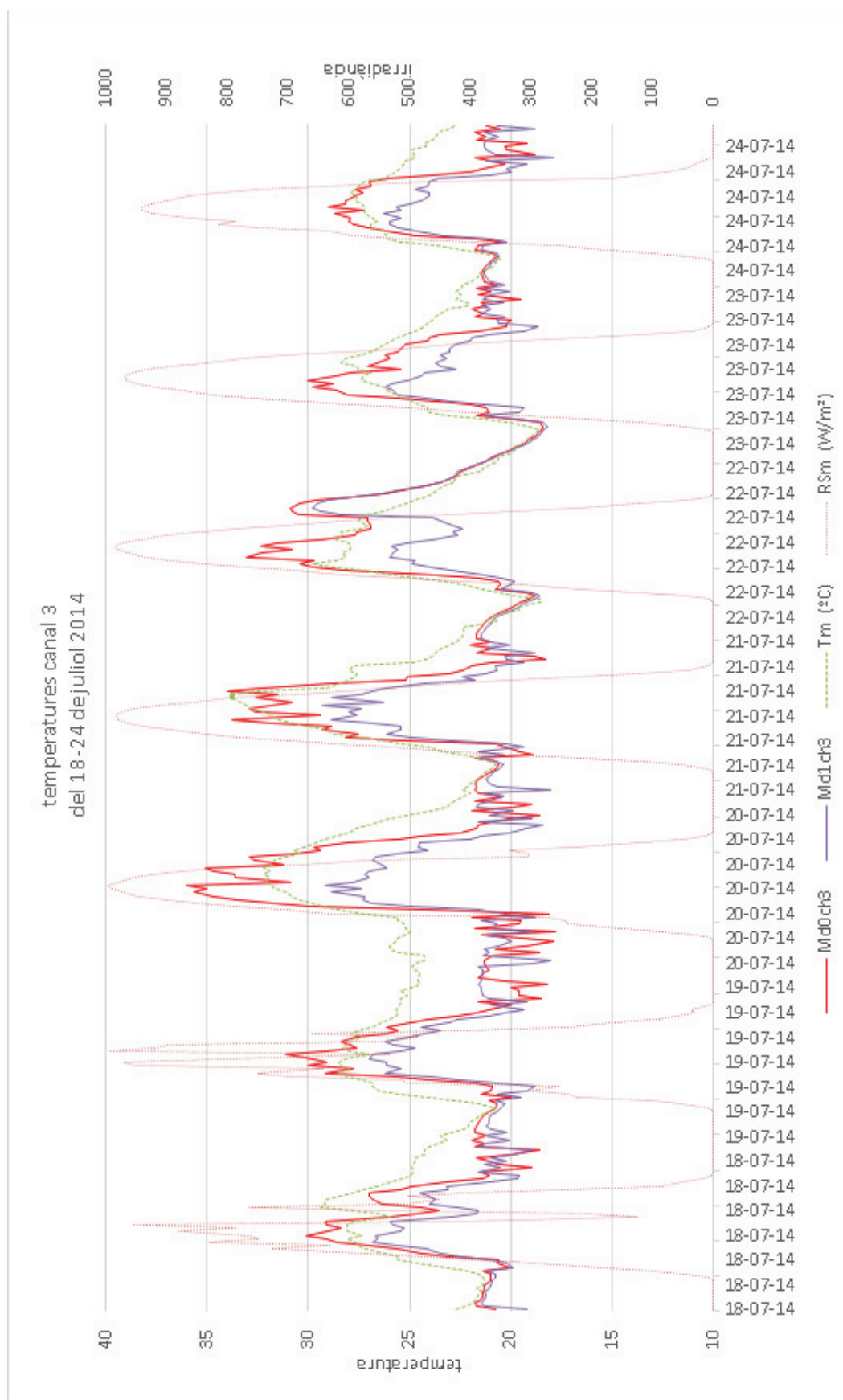
mòdul	canal	Temp.°C	Consum de l'últim període Kwh
Md 0	Ch1	43.1	127
	Ch2	27.0	
Md 1	Ch1 (sota pintura)	31.3	181
	Ch2	25.7	
Md 2	Ch1 (sota pintura)	27.2	262
	Ch2	26.1	

Els valors de les temperatures són les esperades (dia 31 de juliol 11:00am), ara bé els consum dels aparells de clima són diametralment diferents al que es preveia.

Això podria ser degut a:

- o bé a un funcionament erroni dels comptadors elèctrics, el que es difícil ja que es van provar i funcionaven bé.
- o bé a que els A/C (segurament els compressors) han perdut eficiència i no funcionen correctament.
- o bé a algun efecte que no identifiquem.

Les gràfica 6.16, mostra el comportament de les temperatures interiors (canal 3) dels mòduls 0 i 1 durant una setmana, del 18 al 24 de juliol, i es contrasta amb els valors de les temperatura exterior i la irradiància solar que aporta l'estació meteorològica propera.



**Gràfica 6.16.** 18-24 juliol 2014 canal 3 de mòduls 1 i 3  
**Font:** OMR

En etapes anteriors, els valors de les temperatures interiors, eren superiors a les temperatures exteriors, en canvi, en aquesta gràfica, això només passa en el cas del Md0. Aquest és l'efecte de tenir un sistema de climatització artificial a l'interior dels mòduls.

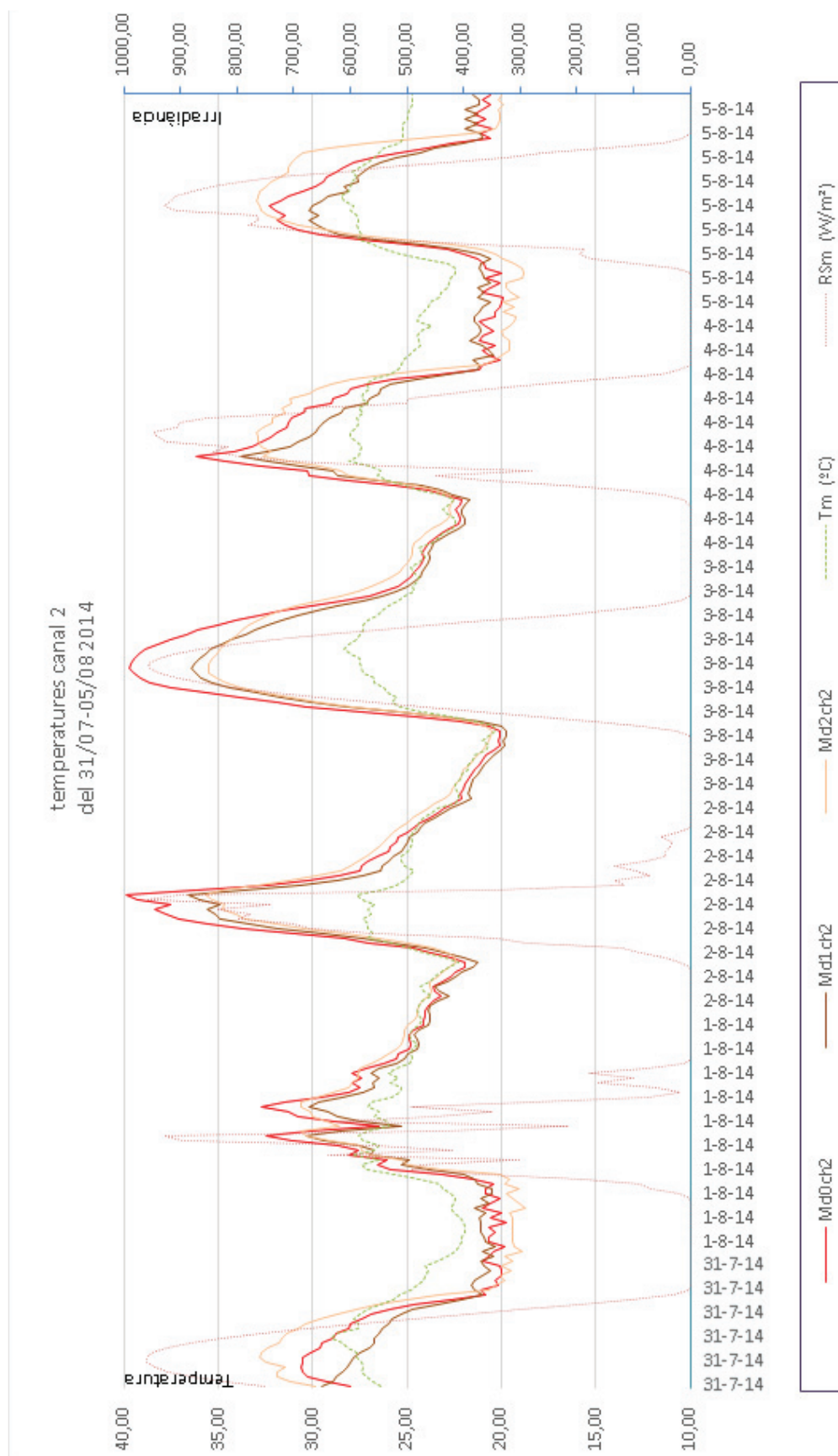
Comentar també que les temperatures del Md1 són, durant les hores diürnes molt més baixes que les del Md0. Això explicaria que l'aparell de clima del Md0 no aconsegueix refredar i per tant no té un consum tan elevat.

## **ETAPA 8: 140731 A 140806**

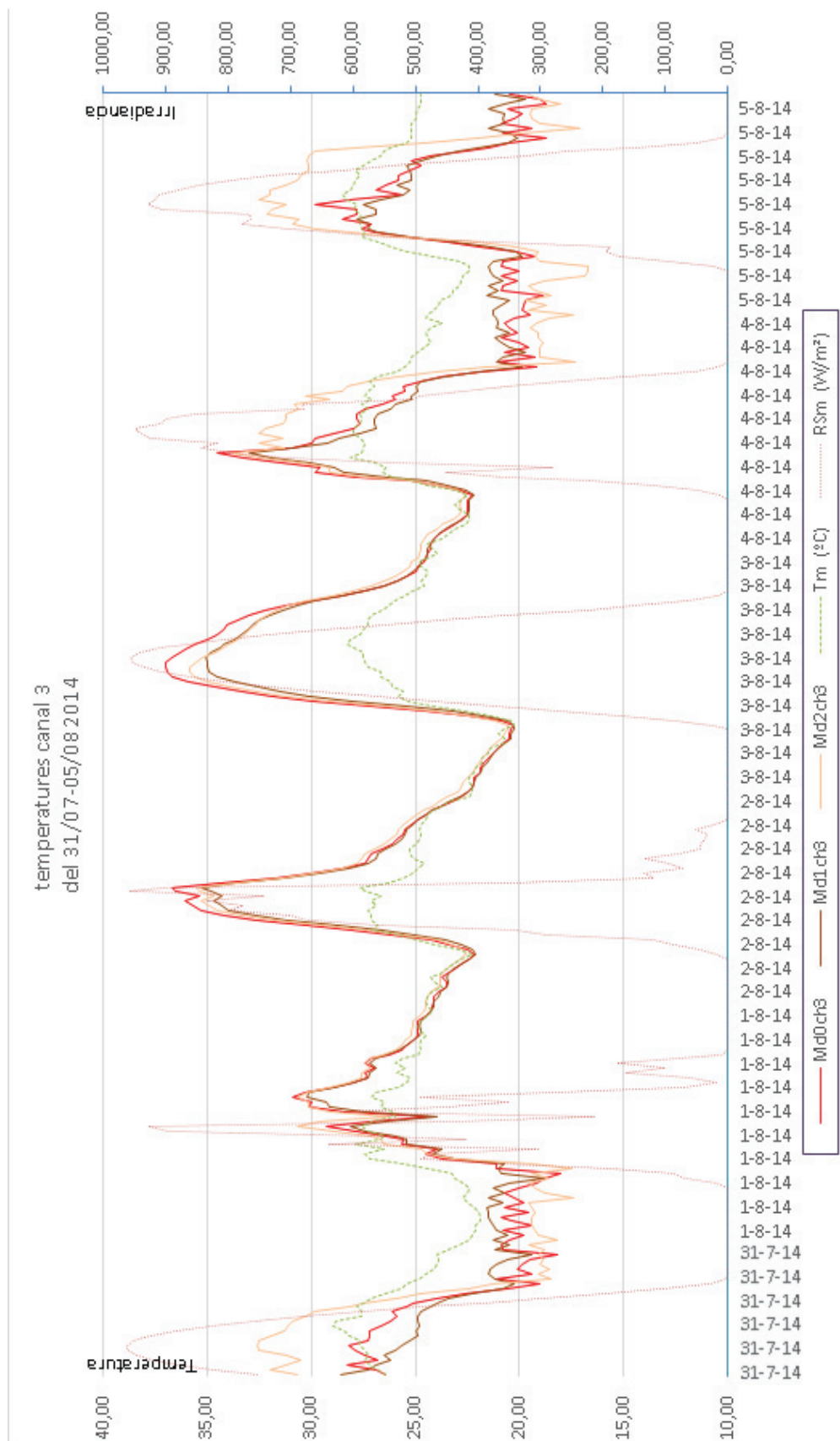
Etapa 8. Del 31 de juliol al 6 d'agost de 2014

Aquesta etapa es deixen als tres mòduls les mateixes condicions anteriors, amb l'esperança que les sondes i recol·lectors de dades funcionin correctament i no salti l'ICP.

Les gràfiques següents 6.17 i 6.18 mostren les corbes de temperatura de tots tres mòduls, del canal 2 i del canal 3.

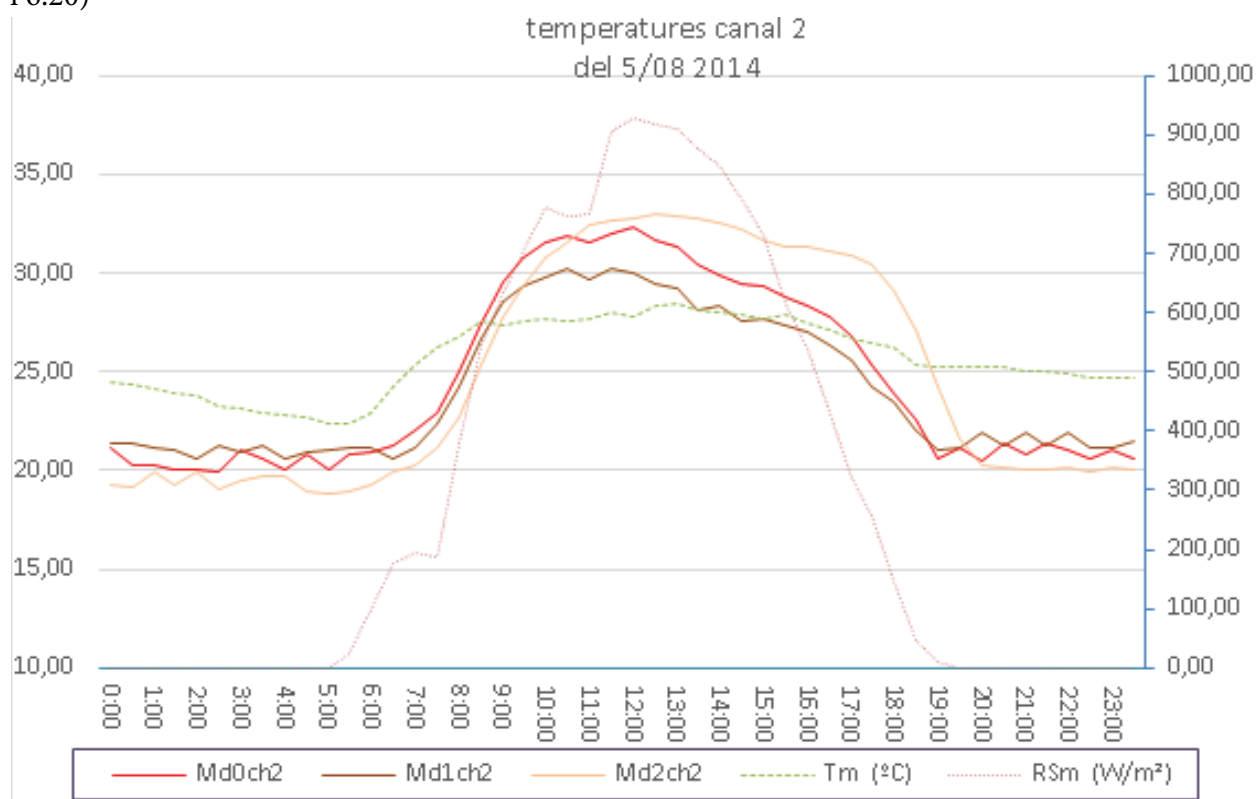


**Gràfica 6.17.** 31 juliol al 05 d'agost de 2014. Canal 2 mòduls 0, 1 i 2  
**Font:** OMR



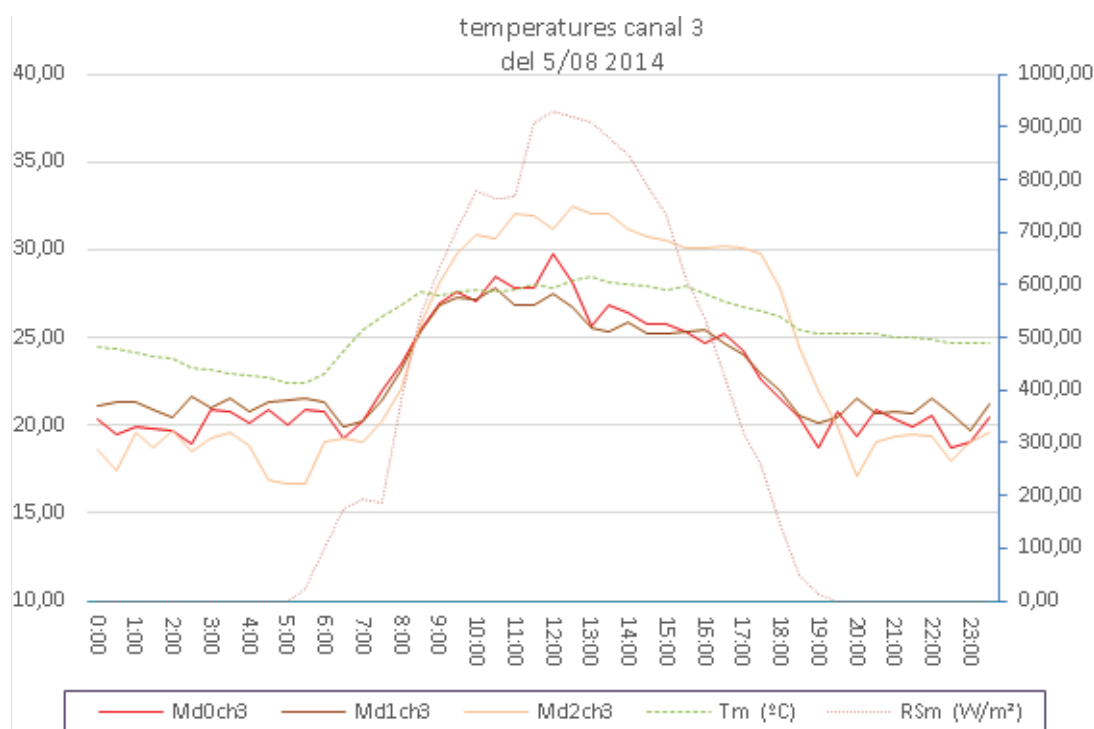
**Gràfica 6.18.** 31 juliol al 05 d'agost de 2014. Canal 3 mòduls 0, 1 i 2  
**Font:** OMR

Per analitzar-ho més amb més detall s'ha realitzat el comportament del dia 5/08/14 (gràfiques 6.19 i 6.20)



**Gràfica 6.19.** 05 d'agost de 2014. Canal 2 mòduls 0, 1 i 2

Font: OMR



**Gràfica 6.20.** 05 d'agost de 2014. Canal 3 mòduls 0, 1 i 2

Font: OMR



En totes dues gràfiques (6.19 i 6.20), la corba que es manté per sobre en les hores diürnes, és la del Md2. Però en canvi a les hores nocturnes és la que es té els valors més baixos. Es pot dir que és el mòdul amb major amplitud tèrmica.

A més a més, les corbes del Md2 són les menys sensibles als canvis de la radiació solar, i respecte les màximes dels Md0 i 1, tenen un cert desplaçament en el temps.

Els consums han estat:

Data	Mòdul 0. Algeco bàsic	Mòdul 1. Algeco + revsun	Mòdul 2. Algeco plus
31/07/14	4053 KWh	6816 KWh	20688 KWh
06/08//14	4077 KWh	6839 KWh	20723 KWh
Consum 31/07 al 06/08	24 KWh	23 KWh	35 KWh

Tal i com es veu a la taula el mòdul que més ha consumit ha estat el 2. Això pot ser degut o bé a un rendiment molt deficient de la màquina de fred o bé a la solució constructiva de coberta. Realment sembla inversemblant que el mòdul amb doble capa d'aïllament consumeixi més que el mòdul 0, que no té cap mesura.

Tampoc és gaire significatiu que entre els mòduls 0 i 1, que en etapes anteriors s'han detectat temperatures interiors molt diferents, només hi hagi un KWh de diferència.

## ETAPA 9: 140806 A 140829. COL·LOCACIÓ FLEXBRICK

Etapa 9. Del 6 al 29 d'agost de 2014

En aquesta etapa es va incorporar un nou material. Es tracta d'una malla ceràmica de la marca FLEXBRCK.



Imatge 6.23. Col·locació de la malla en coberta del mòdul 0 dia 6 d'agost de 2014.

Font: OMR

La casa FELXBRICK disposa de malles amb peces de ceràmiques de diferents tonalitats. Per aquesta es va triar el més clar. (Imatge 6.23)

A més a més sobre aquesta peça es podria disposar un esmalt, el que podria millorar el color i/o les qualitats dels pigments. És més, amb la mateixa tècnica de trenat de malla metàl·lica es podria cosir qualsevol peça d'altre material amb les característiques bàsiques necessàries per quedar lligada amb l'estructura de cables metàl·lics.

Amb aquesta solució, emprem una doble estratègia: la cool roof i les cambres ventilades. La primera pel to clar de la peça ceràmica emprada i la segona per les cavitats que queden entre la ceràmica i la xapa i en la mateixa ceràmica.

Tal i com es veu en les imatges 6.24 el sistema de col·locació de la malla es realitza amb els mateixos mitjans que els utilitzats per implantar els mòduls. Les fotos següents, mostren com ha quedat la malla i es detallen petites millores.

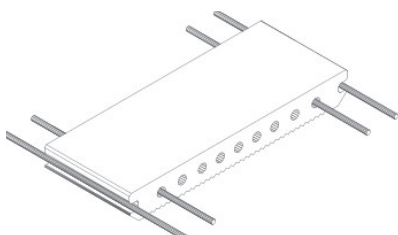


FOTO 0: Detall de la malla



FOTO 1\_Mòdul 0: La col·locació de FELXBRICK, s'ajusten molt bé a la dimensió del mòdul. Tal i com es veu a la fotografia 2, seria interessant suprimir les peces dels quatre vèrtex, per evitar que quedi aixecada. A més a més, així permetria accedir a la boca del baixant i poder-ne fer el manteniment de forma més fàcil.



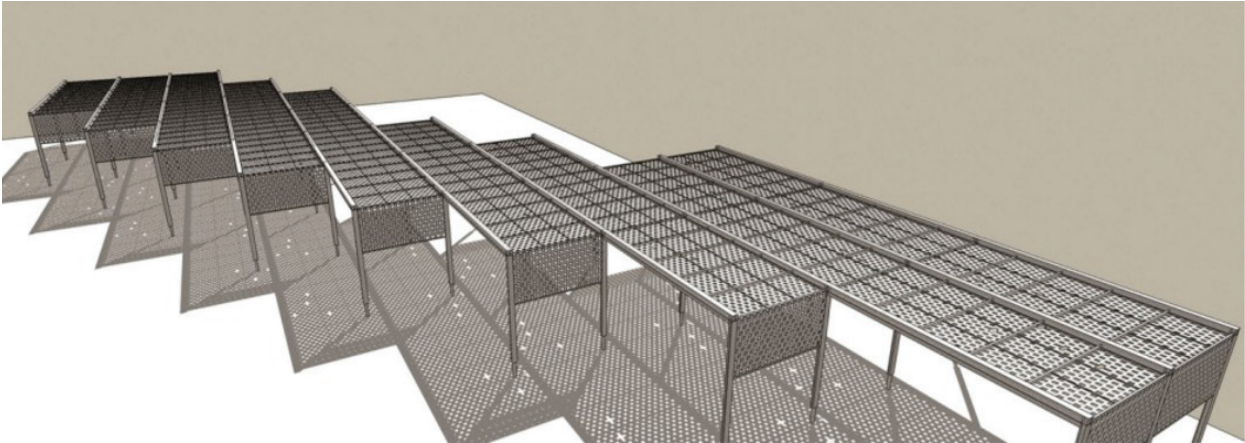
FOTO 2. Peça de cantonada que caldria suprimir.



FOTO 3\_ Caldria retallar els sobrants de filferro que queden en un dels costat, i deixar només aquells estrictament necessaris per a poder moure la malla.

**Gràfica 6.20.** 05 d'agost de 2014. Canal 3 mòduls 0, 1 i 2  
**Font:** OMR

Aquesta serà una solució, en el cas que millori les condicions tèrmiques, que no requerirà de mitjans ni mà d'obra addicional. A més a més, si la malla s'estén més enllà del mòdul (o de l'edifici) podria dotar d'uns espais exteriors, protegits de la radiació solar, que enriquieren les prestacions de l'edifici. Aquesta és una de les propostes del mateix fabricant. Veure imatge 6.25



**Imatge 6.25.**

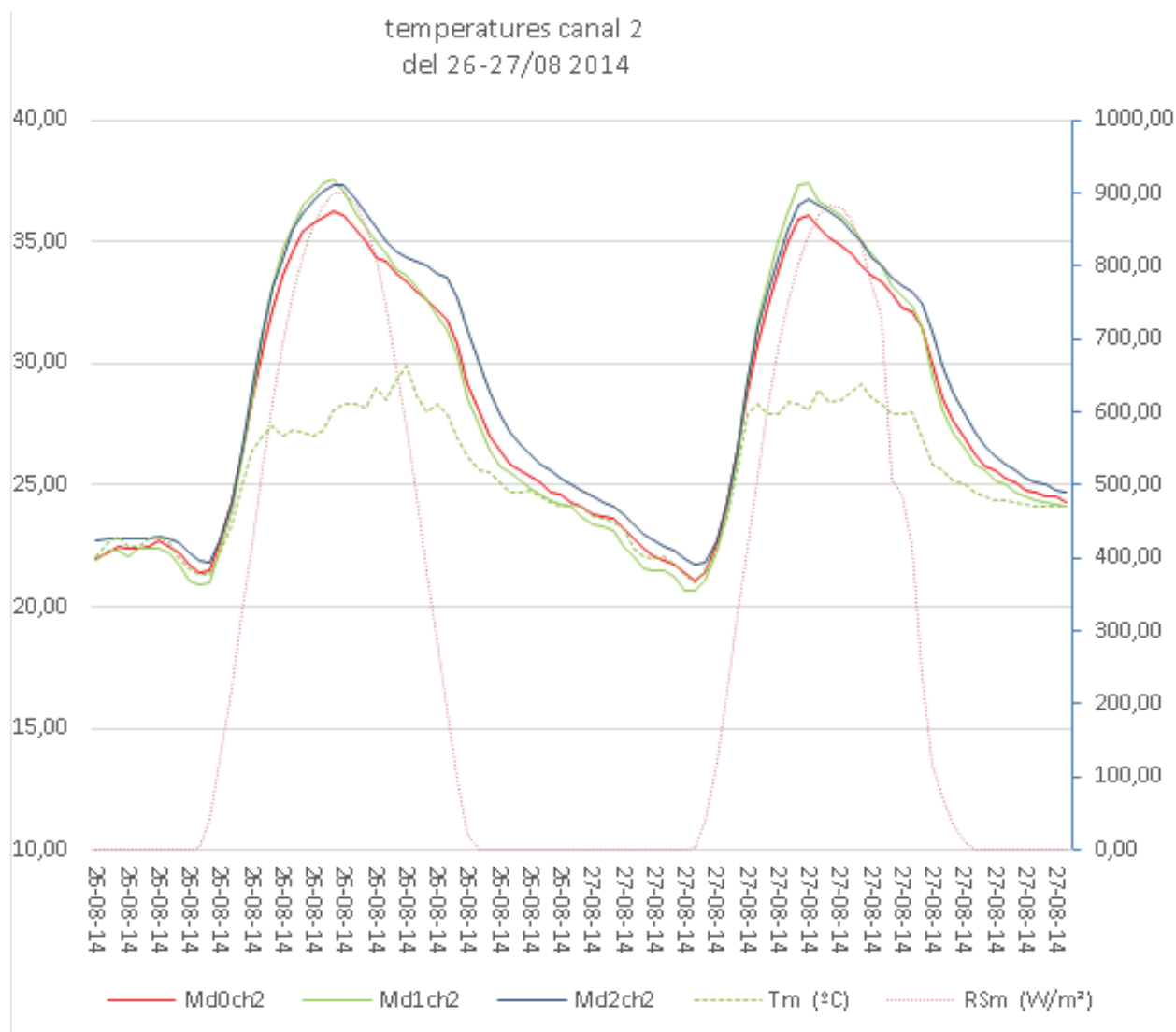
**Font:** [http://www.flexbrick.net/en/rethink/#pergolas\\_op](http://www.flexbrick.net/en/rethink/#pergolas_op)

En aquesta etapa, les solucions constructives de revestiment de coberta són:

- Mòdul 0: coberta ALGECO bàsica + FLEXBRICK
- Mòdul 1: coberta ALGECO bàsica + REVETON TEC PLUS
- Mòdul 2: coberta ALGECO plus, és a dir coberta bàsica amb un reforç de 8 cm de llana de roca i una xapa metàl·lica exterior per protegir la llana de roca i garantir impermeabilitat.

Durant aquesta etapa es deixen els tres mòduls en règim lliure.

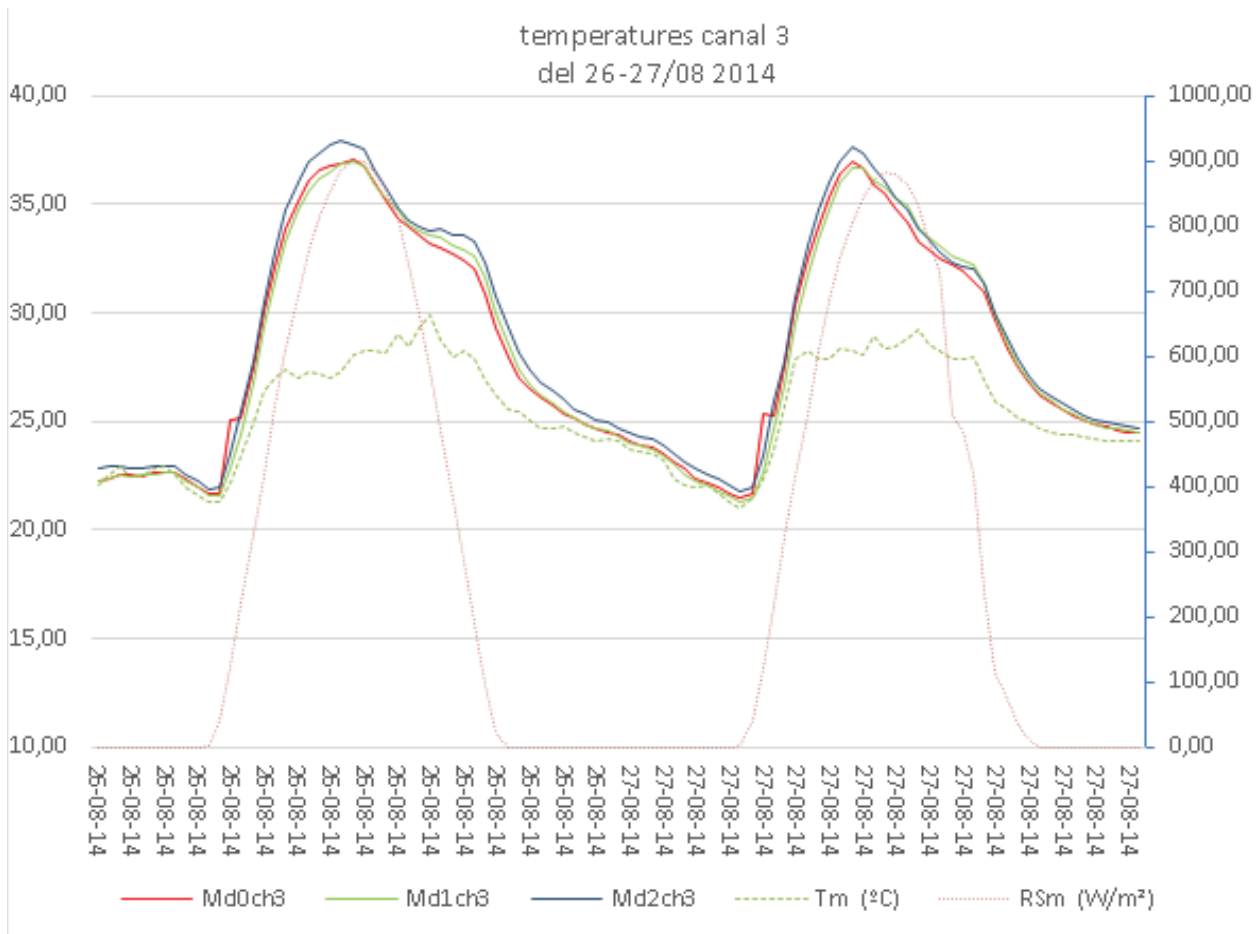
Les comprovacions es fan amb les sondes dels canals 2 i 3 (gràfiques 6.21 i 6.22). La sonda 1 ha quedat sota les tres proteccions (FLEXBRICK, REVETON i el doblat amb llana de roca).



**Gràfica 6.21.** Dies 26 i 27 d'agost de 2014. Canal 2. Mòduls 0, 1 i 2  
Font: OMR

El canal 2 (gràfica 6.21), el que està fixat a la cara inferior del sostre, mostra com el comportament de tots tres mòduls es força semblant en condicions de regim lliure. Els mòduls 1 i 2 (REVETON TEC PLUS i ALGECO millorada) arriben a assolir temperatures lleugerament més altes durant el pic del dia. Durant la nit els mòduls que tenen més facilitat per refredar-se són els 0 i 1 (FLEXBRICK i REVETON TEC PLUS). Durant les hores de sol, tots tres mòduls assoleixen temperatures força més altes que les temperatura exterior, en canvi al vespre, l'únic mòdul que aconsegueix refredar-se més que la temperatura exterior és el mòdul 1.

Segons aquestes dades, i avaluant el canal 2 (gràfica 6.21), seran les solucions de FLEXBRICK i REVETON aquelles que millor comportament tenen per tal de mantenir la temperatura interior el més baixa possible amb la finalitat de mitigar l'escalfament interior del mòduls per efecte de la radiació solar.



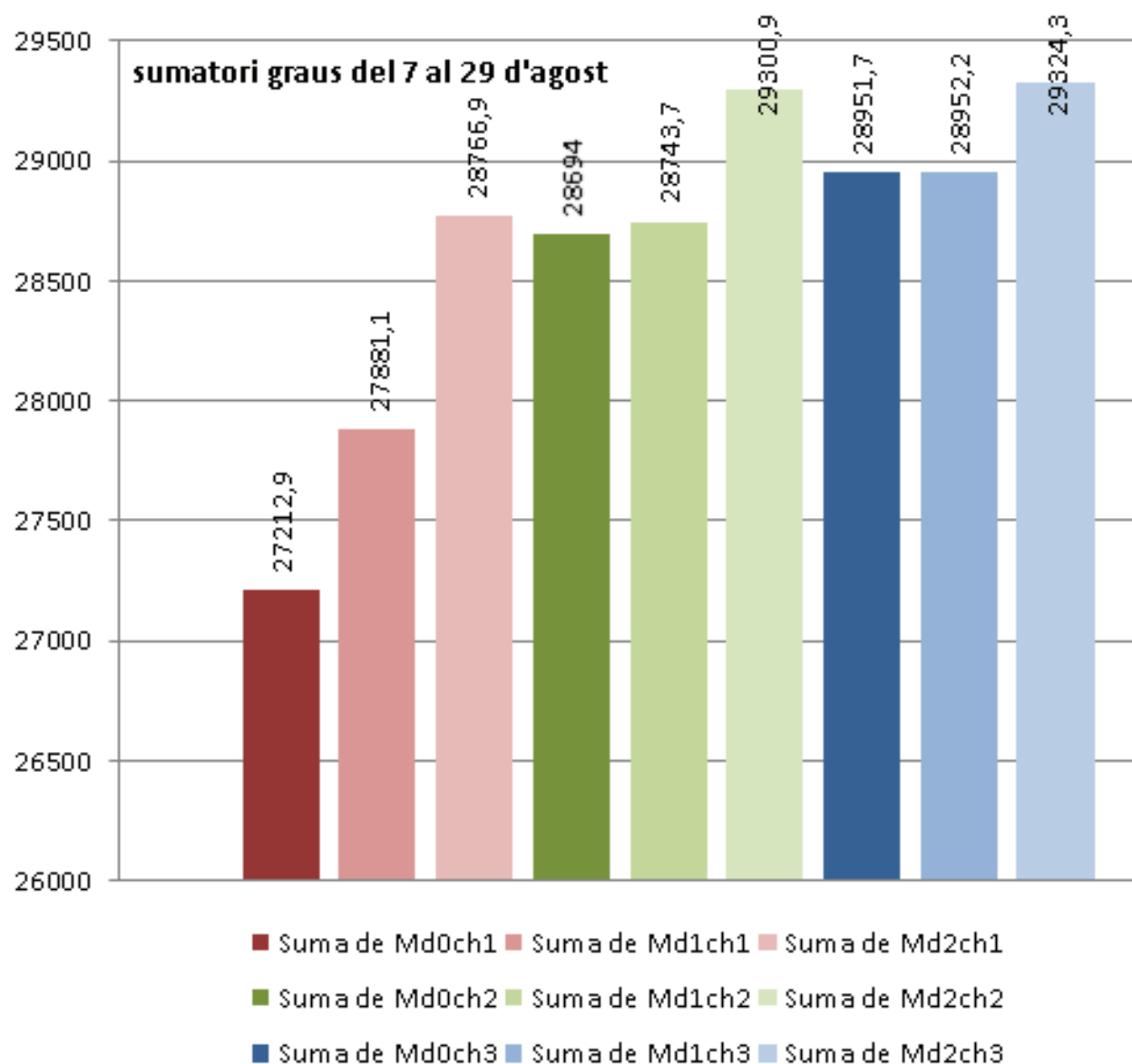
**Gràfica 6.22.** Canal 3 dies 26 i 27 d'agost de 2014

Font: OMR

Quan analitzem el mateix període pel canal 3 (gràfica 6.22), el que pren la temperatura ambient interior, sorprèn que en les hores de màxima insolació, els mòduls que tenen millor comportament són els 0 i 1 i el mateix podem dir durant les hores nocturnes.

El gràfic 6.23 següent mostra els sumatoris de cada canal entre el 7 i el 29 d'agost.

- Canal 1, aquells que menys s'escalfa és el del Md0, ara bé, cal tenir en compte que el Md1 està sobre la capa superficial, i el Md0 i 2 estan sota la ceràmica i el doblat de la coberta Algeco millorada.
- Canal 2: Els mòduls 0 i 1 tenen un comportament semblant. I lleugerament inferior que el Md2
- Canal 3: Ídem anterior. Afegir que entre els canals 2 i 3, en el mòdul 2 gairebé no hi ha diferència, cosa que no passa en els altres dos mòduls.



**Gràfic 6.23.** Sumatori de graus 7-29 d'agost. Mòduls 0, 1 i 2

Font: OMR

**Si entenem que l'energia consumida, seria proporcional a les diferències de temperatura entre l'interior i l'exterior, i que per tots tres mòduls la temperatura exterior és la mateixa, podem concloure que les solucions que menys energia requeriran seran les dels mòduls 0 i 1. Cal tenir present que són les dades de només dues setmanes d'agost**

L'explicació és que la calor acumulada a l'interior deguda a la radiació directa a través de la finestra, sigui un valor molt més alt que la calor provinent per transmissió per la radiació incident a la coberta. Com que tots tenen una obertura, aquell a qui més costarà alliberar calor, serà aquell mòdul més ben aïllat, o sigui el 2 (ja que té un sobre aïllament de llana de roca en la coberta).



Aquest hipòtesi és fàcilment comprovable servint-se del càlcul de la càrrega tèrmica utilitzant les taules editades per Carrier <sup>4</sup>.

La taula adjunt es calcula la càrrega tèrmica que guanya el mòdul per coberta i la que guanya per la finestra. Per coberta es calcula en les dues casuístiques, amb la solució ALGECO (doblant aïllament) i la solució bàsica (amb aïllament simple).

	superfície	Kcal/h	U	Q
Coberta Md2 Aïllament llana de roca densitat 40kg/m3 i $\lambda=0,03$	15 m <sup>2</sup>	$Q = U \cdot S \cdot dte$	$0,20 \cdot 15 \cdot 25,6$ $e = 8 + 8\text{cm}$	76,80 Kcal/h
Coberta Md0-1 Aïllament llana de roca densitat 40kg/m3 i $\lambda=0,03$	15 m <sup>2</sup>	$Q = U \cdot S \cdot dte$	$0,344 \cdot 15 \cdot 25,6$ $e = 8\text{cm}$	132,09 Kcal/h
Finestra alumini sense tpt* i vidre simple.	1,50 m <sup>2</sup>	$Q = S \cdot R \cdot f$	$1,5 \cdot 276 \cdot 1$	414,00 Kcal/h

\*tpt: trencament pont tèrmic

On:

Q= guanys a través de l'element

dte= diferencia temp equivalent, el qual té en compte la massa de l'element ( dte=25,6 a les 17h solar)

U= transmitància

S= superfície

R= radiació solar que passa a través d'un vidre senzill en kcal/h·m2. A inicis d'Agost és= 276 a les 12h solars.

f= percentatge de reducció de R segons les proteccions. Com que no tenim proteccions s 1.

O sigui, l'energia captada a través del vidre a les 12,00 hora solar és molt superior a la captada per la coberta. Fins i tot la diferència entre l'energia que entra per la coberta amb menys aïllament i la que entra per la finestra, no te res a veure.

<sup>4</sup> Manual del Aire Acondicionado (Handbook of air Conditioning System Design), CARRIER AIR CONDITIONING COMPANY. Marcombo Boixareu Editores, 1992. ISBN- 84-267-0115-9



En aquest cas té més influència la radiació solar a través de la finestra (l'increment de temperatura es dona a tots tres mòduls de forma molt similar) que la calor que entra a través del sostre. **Per tant, l'eficiència d'una solució o altre de coberta, queda eclipsada si les obertures no estan protegides.**

Si la finestra tingués una protecció solar, aquests valors serien força diferents. No cal oblidar però que a l'interior dels mòduls no hi ha ningú. Si hi haguessin persones, hauríem de comptabilitzar la càrrega interna, la calor aportada per les persones. A mode d'exemple 5 persones, assegudes, aporten entre 90-100 kcal/h per persona. O sigui entre 450-500 Kcal/h. Aquest valor és similar a l'aportació per la radiació solar directe a través del vidre de la finestra.

**Per tant, per els mòduls ALGECO, per èpoques de forta radiació, és més important la protecció solar de les obertures que no la millora de la coberta, sigui quina sigui la solució adoptada.**

**I entre les solucions adoptades per la coberta, la menys eficient és augmentar el gruix d'aïllament per conducció, ja que dificulta la evacuació de calor.**

### **ETAPA 10: 140829 A 150112. ESTACIÓ FREDA**

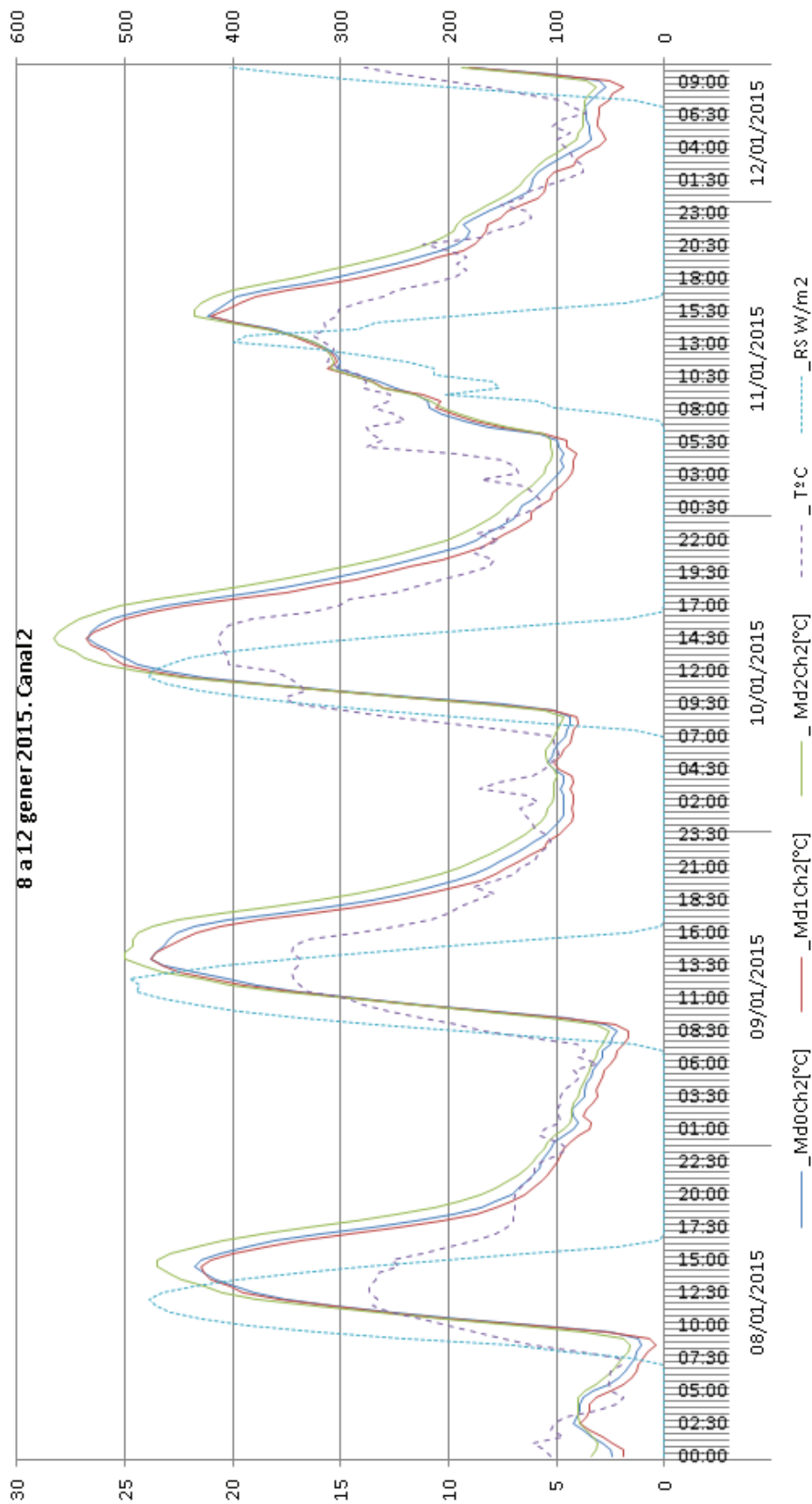
Etapa 10. Del 29 d'agost de 2014 al 12 de gener de 2015

Durant bona part d'aquest període la instal·lació ha estat parada, o sigui sense prendre mesures a l'espera que arribés la època freda.

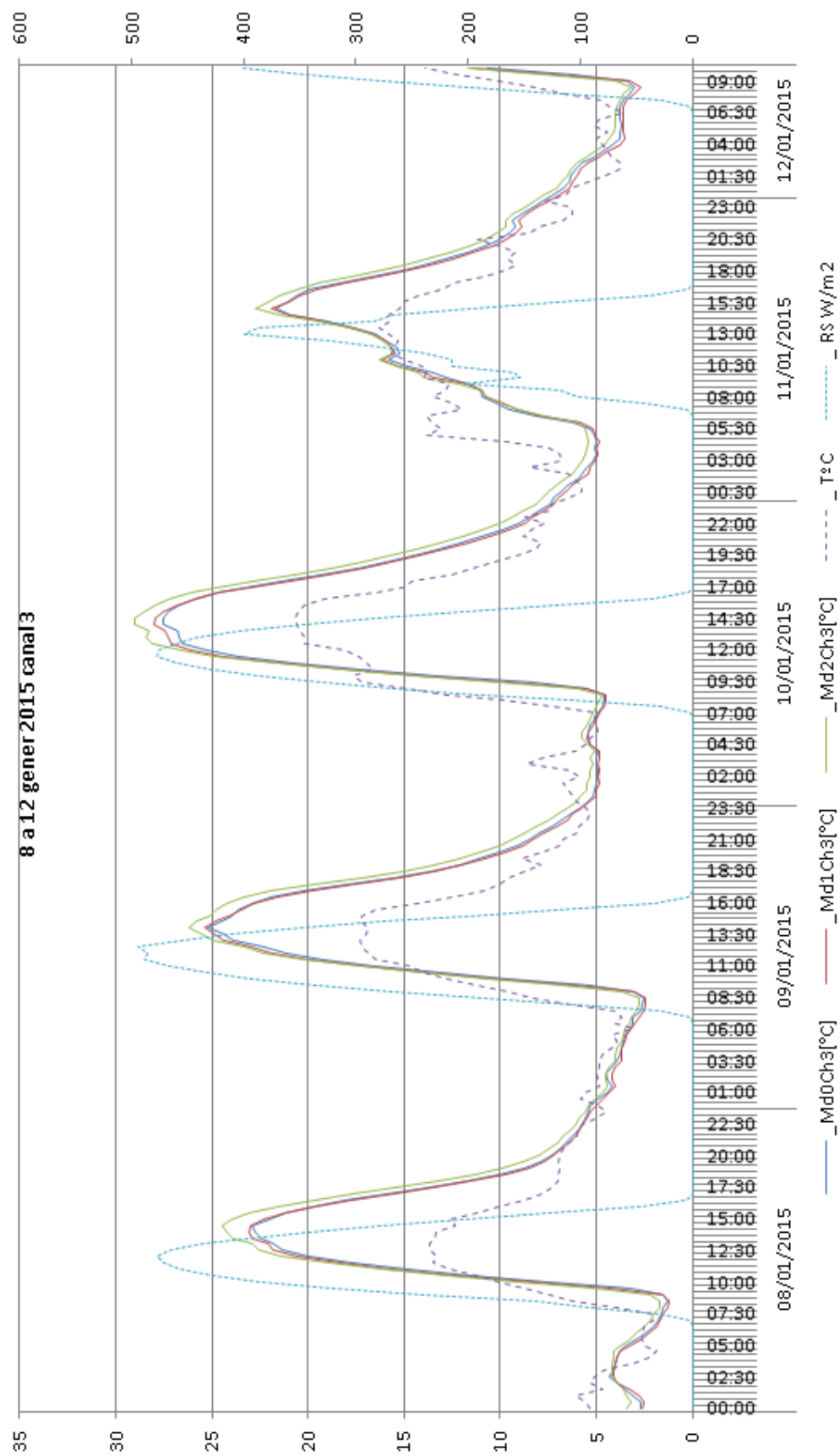
S'analitza quin ha estat el comportament de les temperatures interiors durant els últims cinc dies, del 8 al 12 de gener, en règim lliure.

Interessava poder avaluar què passa durant els mesos de fred (mesos de gener, febrer i març), per tal d'avaluar en quina mesura les cobertes fresques són una solució que perjudica els mesos amb requeriments de calefacció.

Les gràfiques 6.24 i 6.25 són dels dies 8 a 12 de gener per als canals 2 i 3 respectivament. Per concretar i apreciar millor els efectes en un dia assolellat, es focalitza en gràfiques fetes pels dies 10 de gener (gràfica 6.26 i 6.27). Per determinar el comportament amb un dia amb radiació molt inconstant prenem el dia 11 de gener (gràfica 6.28)

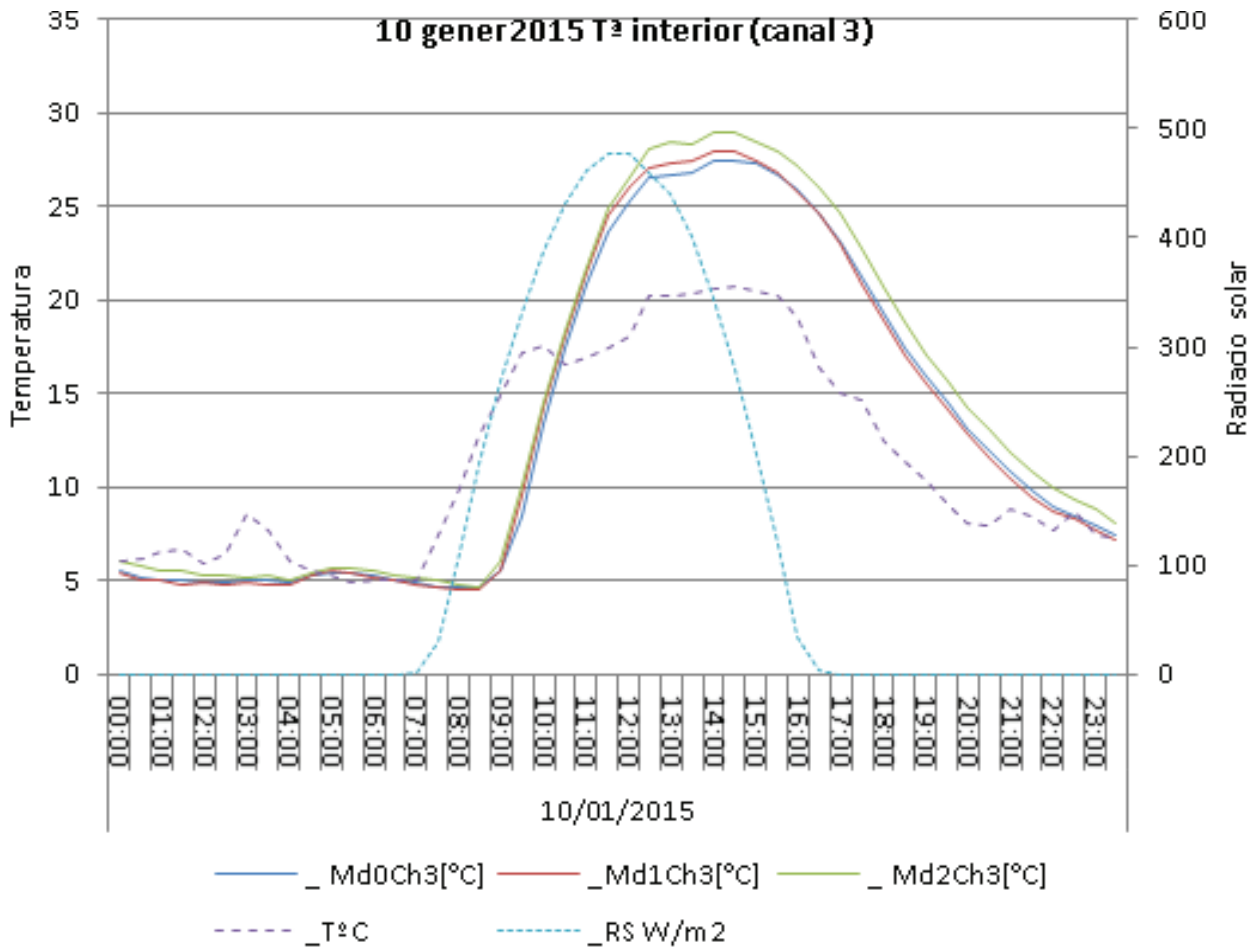


Gràfica 6.24.  
Font: OMR

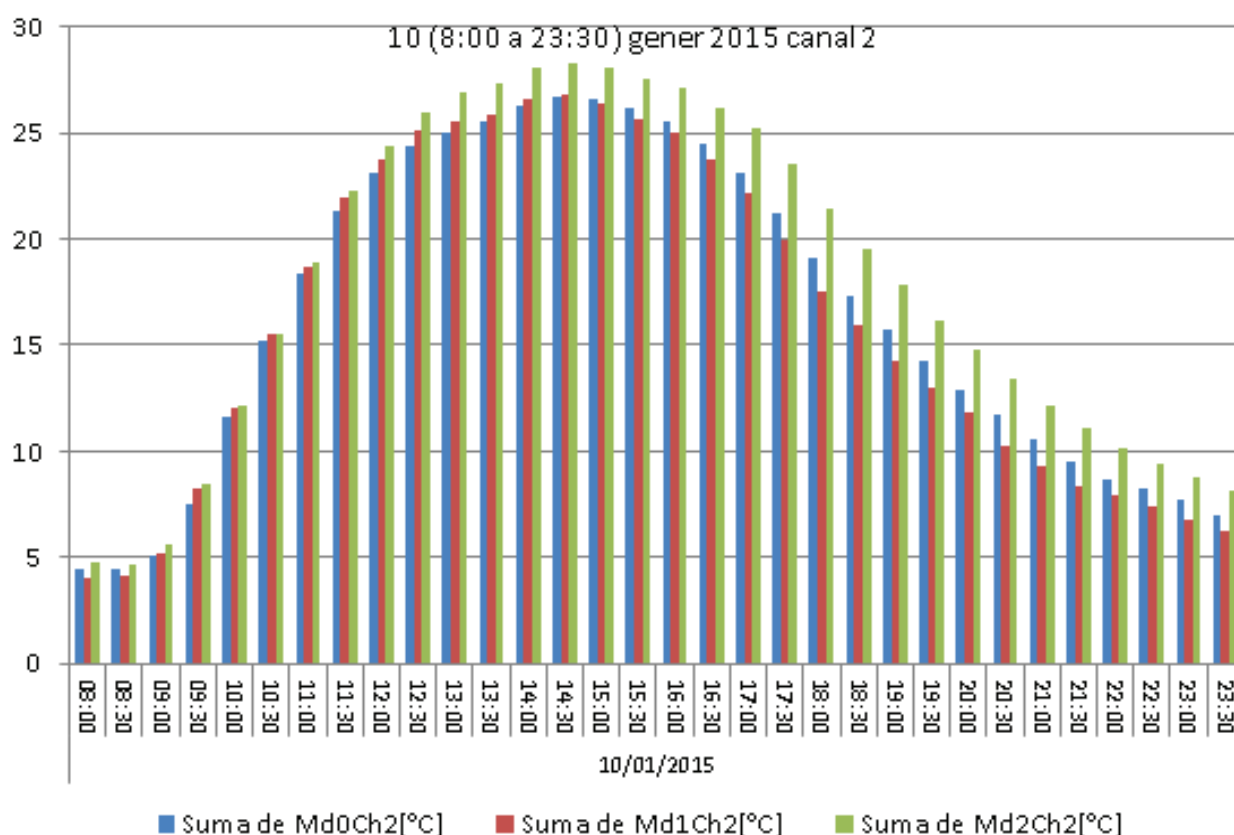


Gràfica 6.25.  
Font: OMR

En aquesta gràfica es veu el que succeeix durant un dia amb bona radiació solar en hores diürnes (de 8:00 a 23:00). Durant el matí els tres mòduls s'escalfen de forma semblant. A mida que la radiació solar comença a baixar, els mòduls 0 i 1 ràpidament es refreden, en canvi el 2 li costa una mica més.



Gràfica 6.26.  
Font: OMR



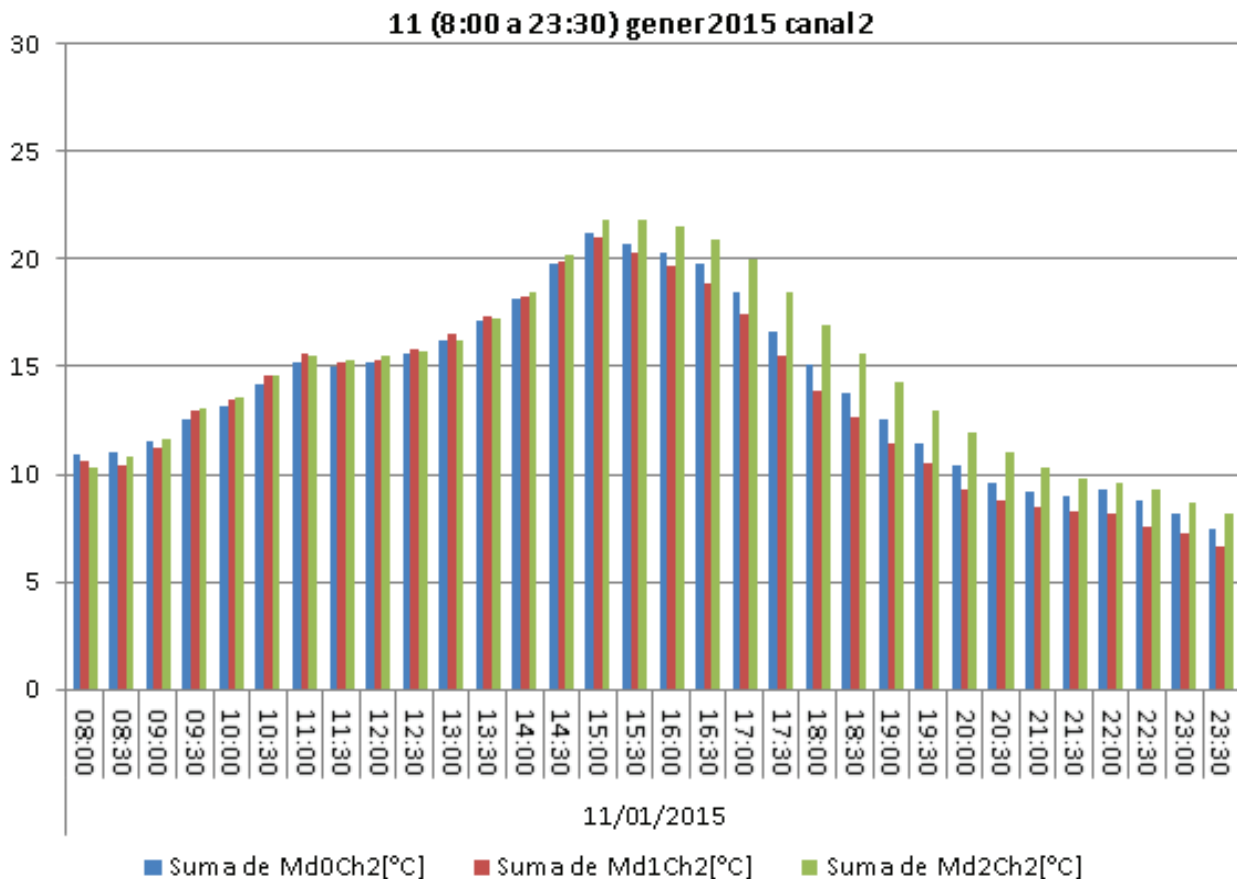
Gràfica 6.27.

Font: OMR

A més hi ha l'efecte de la massa tèrmica (el revestit de coberta del mòdul 0, té molta més massa, doncs és de ceràmica, que els dels mòduls 1 i 2 que són una capa de pintura i una llana de roca respectivament) que cal destacar. Entre els mòduls 0 i 1, al 0 li costa més escalfar-se, però també li costa més refredar-se. En el dia tipus els sumatoris de graus del canal 2 han estat:

Sumatoris de graus – canal 2- dia 10/01/15:		
Mòdul 0: FLEXBRICK	606,90 °C	103,5%
Mòdul 1: REVETON	586,60 °C	100%
Mòdul 2: ALGECOPLUS	659,00 °C	112,34%

Per a un dia amb bon assolellament, tal i com se suposava, la solució amb més aïllament tèrmic funciona millor en èpoques de fred. La solució amb la malla ceràmica FLEXBRICK proporciona massa tèrmica addicional, i estabilitza la temperatura al llarg del dia. De les tres solucions la que funciona pitjor és la que té la coberta amb un recobriment de pintura blanca.



Gràfica 6.28.

Font: OMR

Sumatoris de graus – canal 2- dia 10/01/15:		
Mòdul 0: FLEXBRICK	447,40 °C	103,30%
Mòdul 1: REVETON	433,10 °C	100%
Mòdul 2: ALGECOPLUS	471,20 °C	108,8%

Sorprenentment, per a un dia amb una radiació molt inferior (11/01/15) el comportament és semblant a un dia amb sol. Evidentment el sumatori de graus són inferiors, però es manté la proporció entre uns i altres mòduls.

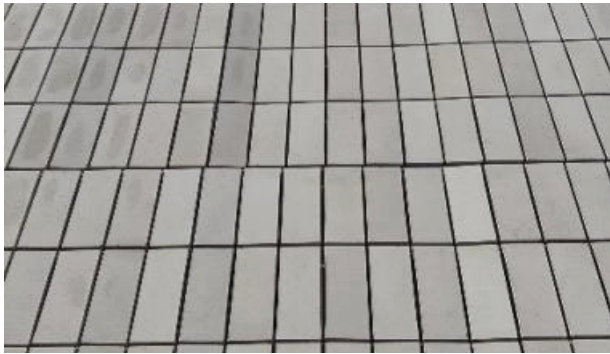
## ETAPA 11: 150112 A 150119

Etapa 11. Del 12 al 19 de gener de 2015

Després d'aquest temps de repòs, s'avalua visualment com han envellit les solucions, i si les sondes segueixen estant al seu lloc.

S'accedeix a les cobertes per a fotografiar en quin grau han anat envellint els tes materials (Imatge 6.26):

- Mòdul 0: ceràmica blanca FLEXBRICK
- Mòdul 1: pintura blanca REVETON
- Mòdul 2: solució millorada ALGECOPLUS.



MÒDUL 0: ceràmica blanca FLEXBRICK.  
Tal i com es veu a la fotografia, l'aspecte de les peces és pràcticament igual que el dia que es van col·locar. No han sofert envelliment aparent i la tonalitat sembla la mateixa (segurament s'han enfosquit una mica)



MÒDUL 1: pintura blanca REVETON.  
La pintura està en bon estat, però en canvi, és molt notori la pols i brutícia que s'hi ha dipositat. En els punts on la pendent no és perfectament constant i queda acumulada aigua, amb restes de pols que ha arrossegat fins aquell punt



MÒDUL 2: solució millorada ALGECO.  
En aquest cas, la placa quan es va posar ja no era nova, ni acabada de pintar. El que si e detecta que la pendent addicional que té aquesta coberta, ajuda a la no acumulació de pols i brutícia

**Imatge 6.26.**  
**Font:** OMR

En els mòduls s'hi ha instal·lat un panell radiant que per escalfa per efecte joule activant la convecció gracies a unes reixes inferior i superior (model de Soler & Palau; PM-1001 Radiador/Panel de convecció mural de 1000W de S&P. Veure imatge 6.27), per avaluar quin consum tindrem en cada cas.

La regulació dels tres panells calefactors s'ha posat al màxim en tots tres mòduls.





MD 0: POSICIÓ MAX




MD 1: POSICIÓ MAX

MD 2: POSICIÓ MAX (EL MODEL, MALGRAT TENIR LA MATEIXA POTÈNCIA I SER DE LA MATEIXA CASA COMERCIAL, NO ÉS IGUAL)

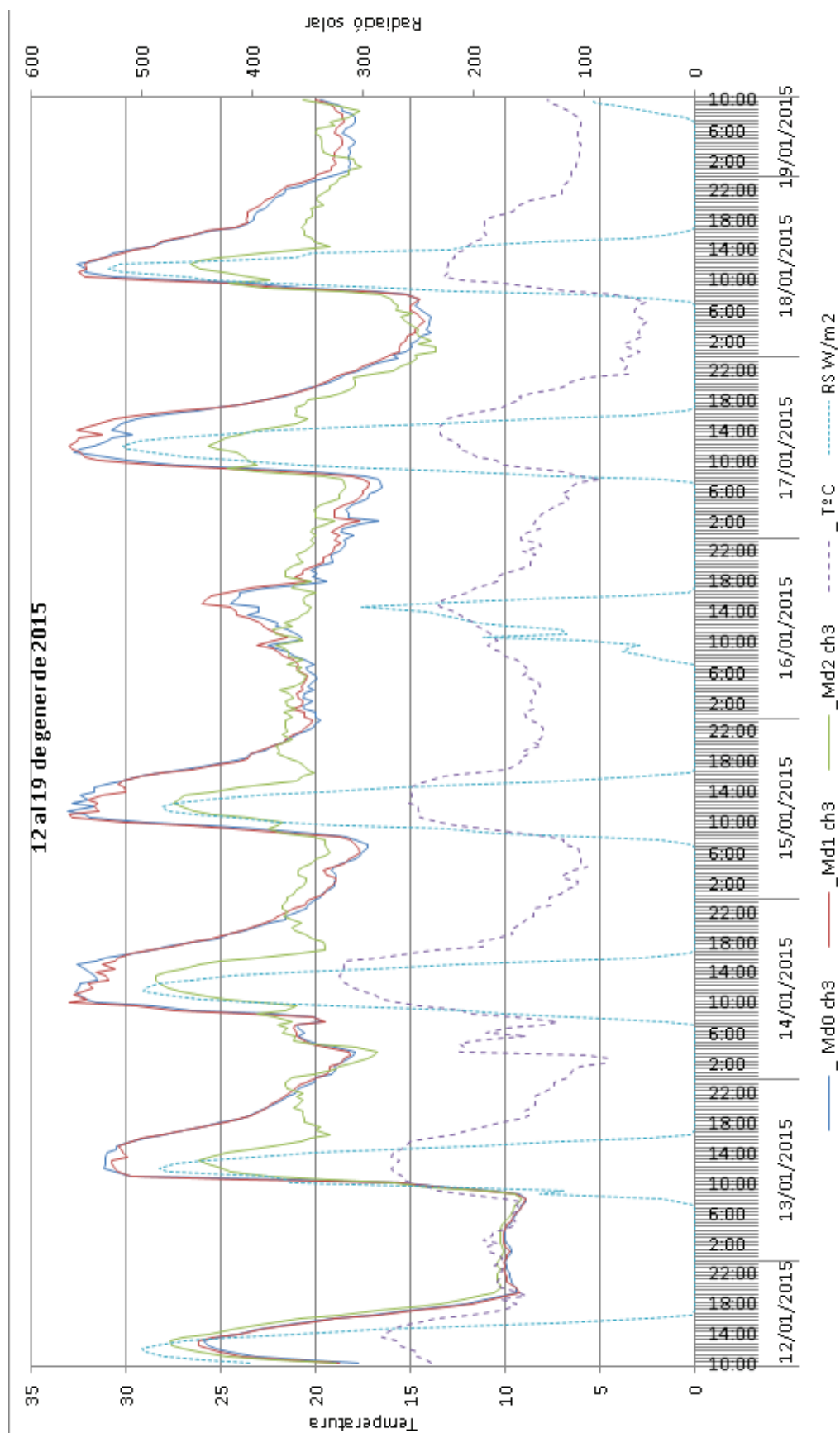
Imatge 6.27.

Font: OMR

Els consums que han tingut durant aquesta etapa han estat:

	Mòdul 0: FLEXBRICK	Mòdul 1: ALGECO REVETON	Mòdul 2: ALGECO PLUS
			
12/01/15	4078	6839	20820
19/01/15	4201	6968	20820
consum	123 KWh	129 KWh	93 KWh
%	132,25%	138,70%	100%

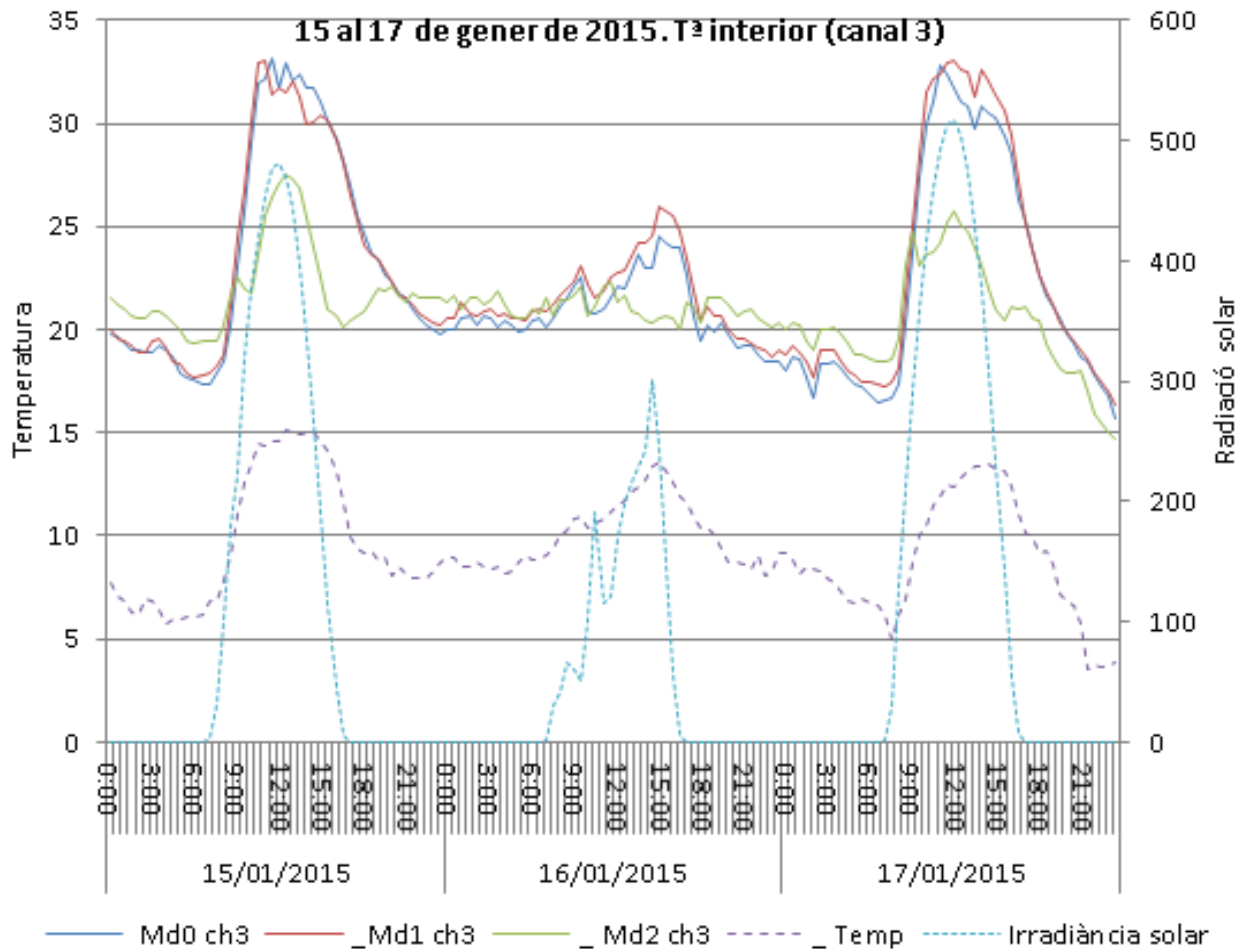
Amb una setmana d'hivern (del 12/01/15 al 19/01/15) els consums han estat segons els esperats. Per la solució amb FLEXBRICK augmenta un 32% i per la solució amb la ALGECO REVETON un 38%. Malgrat això durant aquesta setmana les temperatures interiors del mòdul 2 (ALGECO PLUS) han estat inferiors que en els altres dos mòduls, això també explicaria el consum hagi estat inferior.



**Gràfica 6.29.**  
Font: OMR

Curiosament la gràfica 6.29 mostra que el mòdul amb temperatures més baixes ha estat el 2.

També cal constatar que durant les hores nocturnes, les temperatures dels mòduls 0 i 1 baixen molt més que les del 2.



Gràfica 6.30.

Font: OMR

Durant aquest dia 16/01/15 es pot apreciar (gràfica 6.30) com durant les hores que no hi ha hagut radiació solar, la corba del mòdul 2 es manté per sobre de les altres dues, però al moment que hi ha unes hores de radiació (entre les 11 i les 16,00) ràpidament es desapareixen les corbes dels altres dos mòduls.




**ETAPA 12: 150119 A 150209**

Etapa 12. Del 19 de gener al 9 de febrer de 2015

Aquesta és l'última etapa del treball. El dia 09/02/15 ha quedat desmuntada tota la instal·lació.

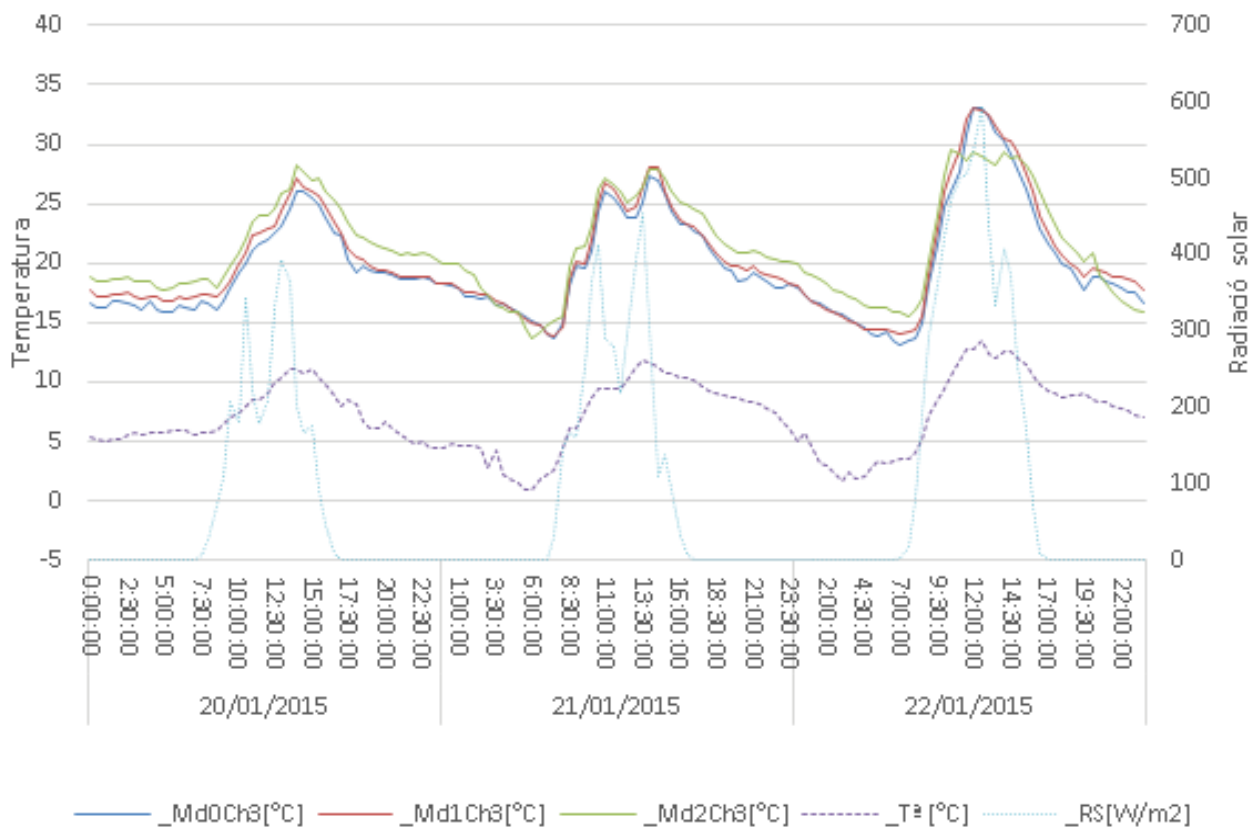
En aquesta última etapa els mòduls s'han mantingut amb els plafons de la calefacció elèctrica en-dollada.

Tal i com s'entreveia, i com es pot apreciar a la taula inferior, el mòdul que menys consum ha tingut ha estat el 2. Això és degut a un superior aïllament de la coberta. La diferència entre el Md 0 i 1, no és substancial però és curiós que el Md 0 (revestit ceràmic de FLEXBRICK) hagi estat superior en consum elèctric. Curiosament en l'última presa de dades el consum del Md1 havia estat superior que el del Md0. De totes maneres el percentatge és molt menor que l'última presa de dades.

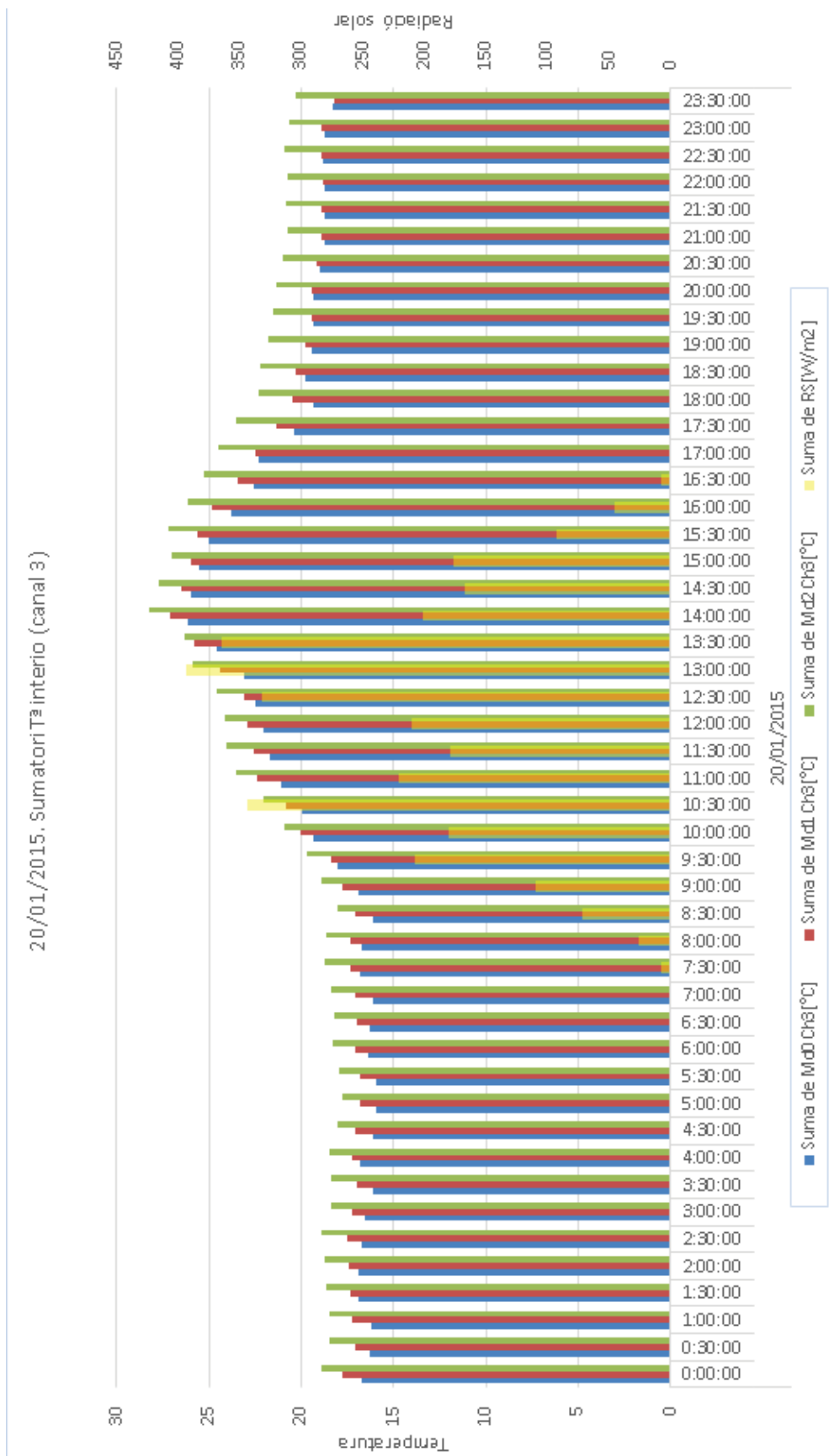
	Mòdul 0:	Mòdul 1:	Mòdul 2:
Fotos del 09/2/15			
19/01/15	4201	6968	20820
09/02/15	4703	7466	21264
consum	502KWh	498KWh	444KWh
%	113,10%	112,16%	100%

El la gràfica següent, 6.31, s'entén molt bé el perquè dels consums. La temperatura interior del mòdul 2 és pràcticament sempre superior a les dels mòduls 0 i 1. Això es efecte, lògicament, de la millora en l'aïllament tèrmic de la coberta.

20/01 a 22/01 2015. T<sup>3</sup> interior (canal 3)



**Gràfica 6.31.**  
**Font:** OMR



Gràfica 6.32.  
Font: OMR

En el gràfic 6.32 es pot apreciar el que ja s'enunciava a l'etapa anterior. Durant un dia assolellat, el Md0 (amb ceràmica superior) es manté a temperatura inferior durant les hores de forta radiació, però en canvi a les primeres hores de tarda vespre, assoleix valors semblants al Md1 (pintura blanca).

## CONCLUSIONS:

Previ a la redacció de les conclusions es fa un resum de les condicions en que s'ha portat a terme l'estudi:

- Els mòduls han estat sempre tancats, no s'ha contemplat la possibilitat de dissipar el calor amb ventilació nocturna.
- A l'interior del mòdul no s'hi realitzava cap us, conseqüentment no hi havia càrregues internes, que haguessin agreujat el comportament en les hores diürnes de les èpoques càlides.
- Les màquines de clima (bomba de calor o panells radiants) no eren noves, i per tant el rendiment de cada una pot ser molt diferent. Això pot portar a distorsions importants en el consums determinats.
- Malgrat haver justificat el comportament similar dels tres mòduls sobre els que s'ha realitzat l'estudi, evidentment no són idèntics.

**A l'hivern: el major aïllament afavoreix la retenció de calor a l'interior del mòdul. La solució del Md2 (amb doblat de llana de roca de 8+8cm de gruix) és la que aconsegueix menors consums.**

**A l'estiu: Els consums de la solució ALGECO PLUS han estat molt majors que els dels altres mòduls, més enllà de les diferents eficiències en les màquines, el major aïllament dificulta la capacitat de dissipar calor. Així, fins en situació de regim lliure, el ALGECO PLUS triga molt més a perdre calor del que ho fan els ALGECO i ALGECO blanc.**

**En hores de forta radiació, en èpoques d'estiu, el comportament dels mòduls és semblant, tan tinguin un major aïllament o solucions de coberta fresca. Remarcar dues consideracions: primer, el consum per refredar és molt superior, costós i difícil de controlar el confort de la majoria de persones. I segon, el canvi climàtic ens depara períodes de calor cada cop més llargs i intensos.**



## 6.8. SIMULACIÓ NUMÈRICA.

Posteriorment a l'estudi realitzat i amb els resultats obtinguts s'ha realitzat un model numèric per intentar representar les solucions ja provades en períodes anuals.

El programa que s'ha utilitzat ha estat el DESIGNBUILDER.

El primer que es va fer fou calibrar el model informàtic amb les dades tèrmiques i les dades meteorològiques obtingudes durant les fases experimentals ALGECO. En aquesta etapa calia definir bé la absorptància del material en el model informàtic, ja que només es disposava de les característiques físiques (reflectivitat i emissivitat) de la pintura REVETON.

Finalment els resultats obtinguts foren:

Cas*	Nom	Model	Absortancia**	Transmitància tèrmica (W/ m <sup>2</sup> K)		
C1	ALGECO_ V001.4	Algeco	0.5	0.08	Md0	Etapas 1 a 8
C2	ALGECO_ V003	Algecoplus	0.5	0.08 + 0.08	Md2	
C3	ALGECO_ V002	Reveton	0.24	0.08	Md1	
C4	ALGECO_ V004	Flexbrick	0.4	0.08	Md0	Etapas 9 a 12

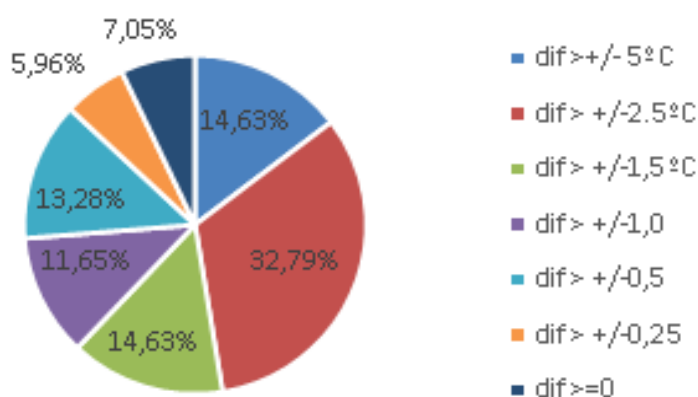
\*A diferència del que hem fet fins ara, amb les simulacions parlarem de cassos, segons el material de recobriments de la coberta.

\*\*El valor de l'absortància s'ha obtingut a base de d'aproximacions per tal que els resultats de la simulació s'assemblin als obtinguts de les mesures en situació real.

Per tal de donar credibilitat als resultats que posteriorment obtindrem amb les simulacions, cal comparar els resultats registrats pels dataloggers en situacions reals i els que hem obtingut de les simulacions calibrades.

Els percentatges de coincidència han estat: (veure les següents 4 gràfiques -6.33- i taules) :

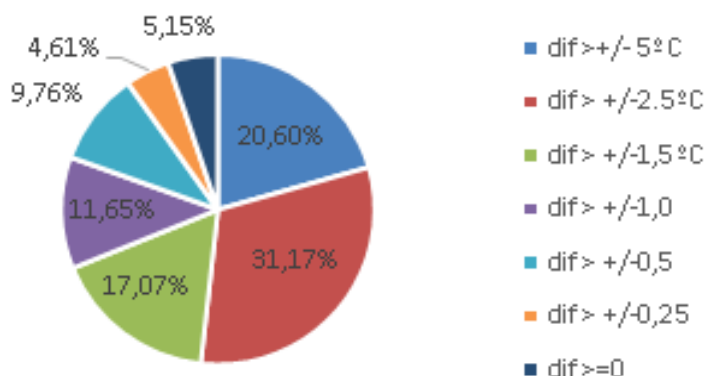
algeco Md2ch2 i C2 (ALGECOPLUS)  
16/06/14 a 01/07/14



dif > +/- 5°C	54.00	14.63%
dif > +/- 2.5°C	121.00	32.79%
dif > +/- 1,5°C	54.00	14.63%
dif > +/- 1,0	43.00	11.65%
dif > +/- 0,5	49.00	13.28%
dif > +/- 0,25	22.00	5.96%
dif >=0	26.00	7.05%
total	369.00	100.00%

85,37% de valors amb menys de 2,5 °C de diferència.

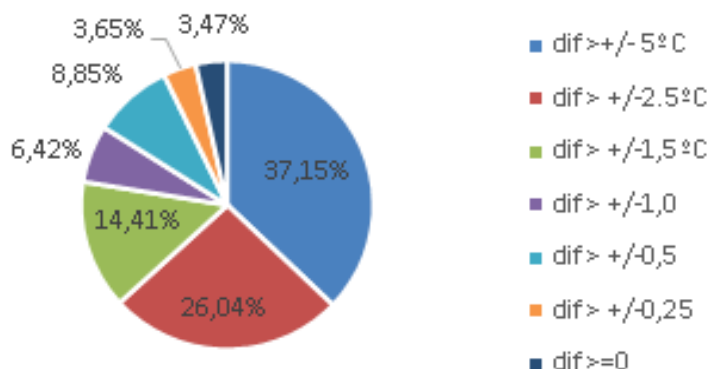
algeco Md1ch2 i C3 (REVETON)  
16/06/14 a 01/07/14



dif > +/- 5°C	92.00	24.93%
dif > +/- 2.5°C	124.00	33.60%
dif > +/- 1,5°C	53.00	14.36%
dif > +/- 1,0	21.00	5.69%
dif > +/- 0,5	42.00	11.38%
dif > +/- 0,25	19.00	5.15%
dif >=0	18.00	4.88%
total	369.00	100.00%

75.07% de valors amb menys de 2,5°C de diferència

algeco Md1ch2 i C4 (FLEXBRICK)  
6/08/14 a 29/08/14



dif > +/- 5°C	214.00	37.15%
dif > +/- 2.5°C	150.00	26.04%
dif > +/- 1,5°C	83.00	14.41%
dif > +/- 1,0	37.00	6.42%
dif > +/- 0,5	51.00	8.85%
dif > +/- 0,25	21.00	3.65%
dif >=0	20.00	3.47%
total	576.00	100.00%

62,85% de valors amb menys de 2,5°C de diferència.

Gràfica 6.33.  
Font: OMR

Les comparacions s'han fet entre les dates del 16/06/2014 i 01/07/2014.

Per comparar el Md0 amb la malla ceràmica de FLEXBRICK s'han pres les dades entre les dates del 6/08/2014 i 29/08/2014.

Els resultats, oscil·len entre un 85% i 62% amb variacions inferiors a 2,5°C de diferència. El model que ha sortit amb menys percentatge similar ha estat el Md0 amb el recobriment de FLEXBRICK. Simular les càmeres d'aire entre la ceràmica i la xapa gregada, i entre la mateixa peça ceràmica és de gran complexitat, el que es deriva amb aquest baix percentatge resultats semblants.

Malgrat els relativament baixos percentatges de similitud entre les temperatures obtingudes a la realitat i les obtingudes per simulació, és l'única manera que tenim de simular en anys sencers tots quatre casos (C1, C2, C3 i C4), amb o sense climatització. Aquestes simulacions ens oferiran una idea aproximada del comportament d'aquests mòduls al llarg de l'any. A més a més no hi haurà dubte de rendiments diferents entre màquines, graus d'estanquitat a l'aire... d'un a altre mòdul.

Així doncs, els resultats obtinguts, el que sí ens garantiran serà unes condicions idèntiques per a cada un dels mòduls en tots els aspectes: clima, transmissibilitats, eficiència dels sistemes actius, radiació solar, estanquitat a l'aire...I la única variació serà en el material d'acabat de coberta i les seves característiques físiques.

### **CONDICIONS DE LES SIMULACIONS:**

EL treball realitza dues bateries de simulacions. Una en règim lliure i una amb climatització.

La primera representa perfectament quins són els fluxes energètics en cada una de les solucions. Quins sistemes són aquells a través dels quals es guanya o es perd més energia.

En la segona, es defineixen unes temperatures de consigna interiors – variables al llarg de l'any- i el programa comptabilitza les aportacions de calor o de fred segons siguin necessari.

Dit d'una altra manera, en la primera bateria de simulacions el balanç tèrmic serà diferent de zero. Durant l'hivern o l'estiu els mòduls tendiran a refredar-se o escalfar-se respectivament, evidentment de forma diferent cada un d'ells. Caldrà analitzar que passa en cada cas i ponderar si aquest escalfament o refredament és positiu o negatiu.

En la segona tanda, al complementar-los amb un sistema artificial actiu, els guanys o pèrdues del primer cas es compensaran amb fluxes “artificials” d'entrada o sortida d'energia. En aquest cas la fórmula del balanç tèrmic sí que serà igual a zero.

Per últim, cal esmentar, que en cap dels casos s'han contemplat càrregues internes. El motiu és que es pretenia comprovar si les diferents hipòtesis deduïdes de l'etapa anterior, eren o no, encertades. Per tant s'ha intentat que les situacions fossin el més semblants possibles.

## RESULTATS DE LES SIMULACIONS:

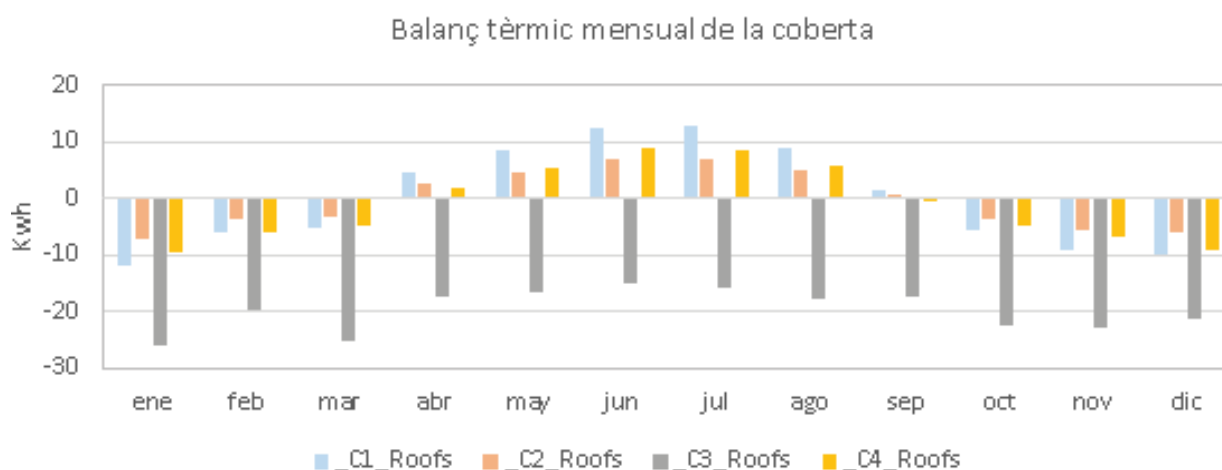
Es mostren a continuació els resultats obtinguts. Les primeres gràfiques representen els mòduls en regim lliure.

Es recorda que els diferents casos C1 a C4 equivalen a:

Cas	Nom	Mòdul
C1	Algeco	0 Etapes 1 a 8
C3	Algeco_Plus	1
C2	Reveton	2
C4	Flexibrick	0 Etapes 9 a 12

## SIMULACIONS EN REGIM LLIURE.

La primera gràfica 6.34, és el balanç tèrmic de la coberta en cada un dels casos. Aquest gràfic representa si el mòdul guanya (positiu) o perd (negatiu) calor per la coberta.



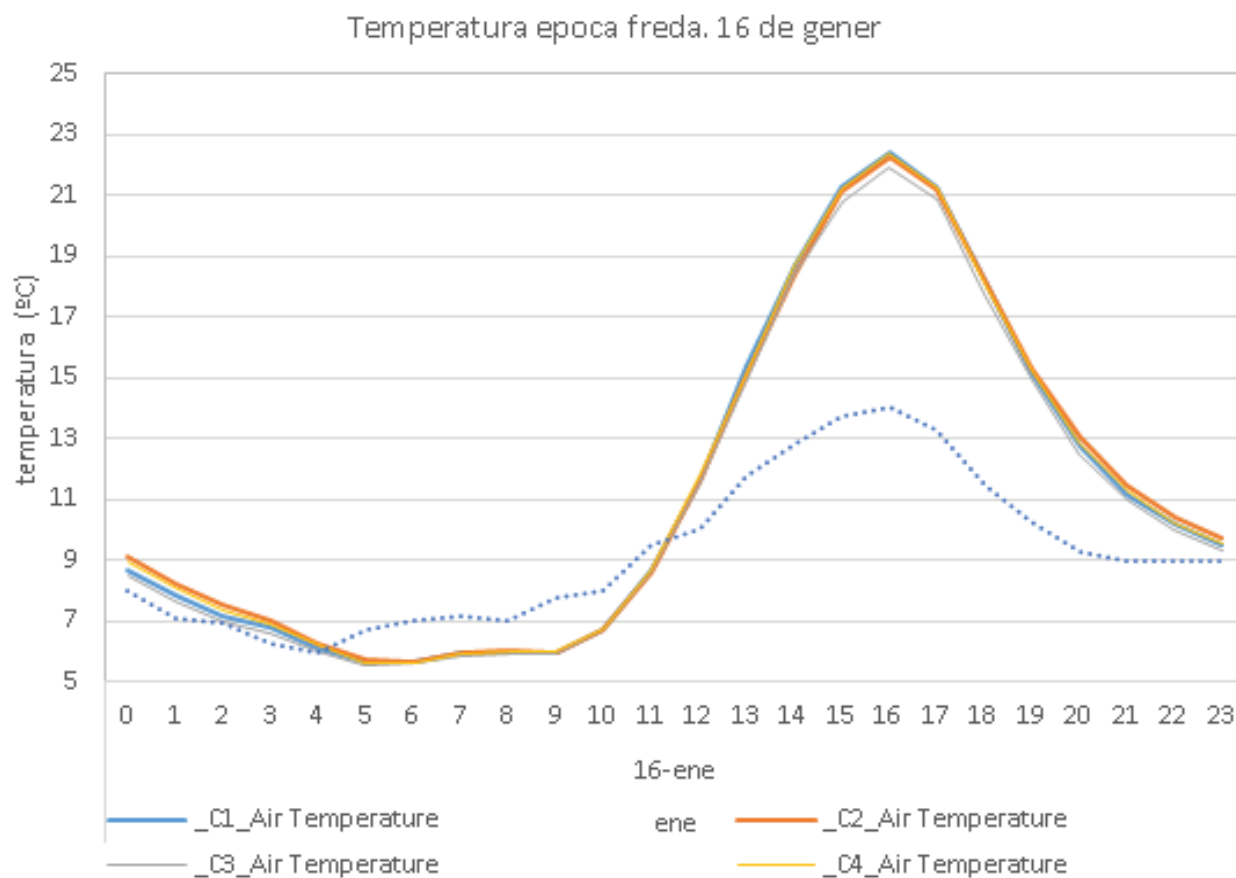
C1-ALGECO // C3-ALGECO\_PLUS // C2-REVEON // C4-FLEXIBRICK

Gràfica 6.34.  
Font: OMR

Com es veu, l'única solució que té un balanç tèrmic mensual de la coberta negatiu tots els mesos

és la C3 REVETON. Evidentment les pèrdues de calor durant l'època d'hivern significaran un augment en l'ús de la calefacció.

Si prenem un dia tipus (16 de gener- gràfica 6.35-) queda palès que el comportament de la temperatura interior en els quatre cassos és molt semblant. Les variacions són pràcticament inapreciables. Si fem un zoom més proper, veurem que tots els casos no tenen diferències substancials.



C1-ALGECO // C3-ALGECO\_PLUS // C2-REVETON // C4-FLEXIBRICK

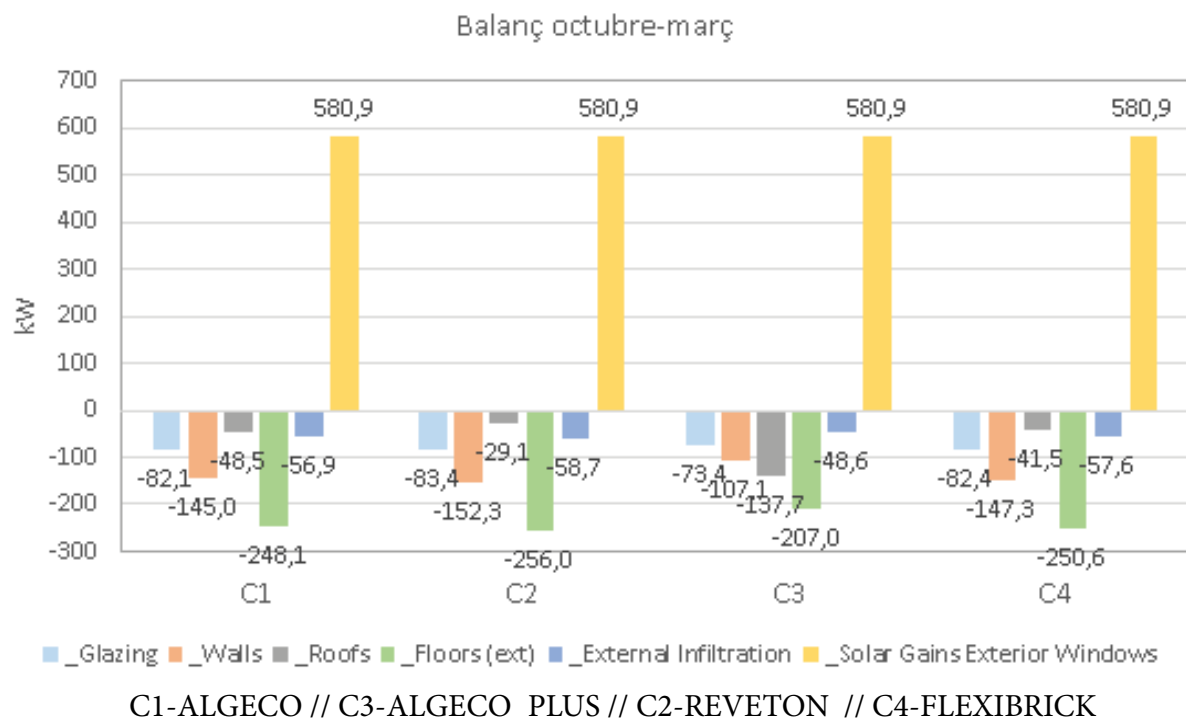
**Gràfica 6.35.**

Font: OMR

Aquest comportament tan similar és degut a l'efecte de la radiació solar entrant per la finestra, la qual no té cap mena de protecció. Aquest efecte el podem observar a les següents dues gràfiques. La primera en l'època freda (gràfica 6.36).

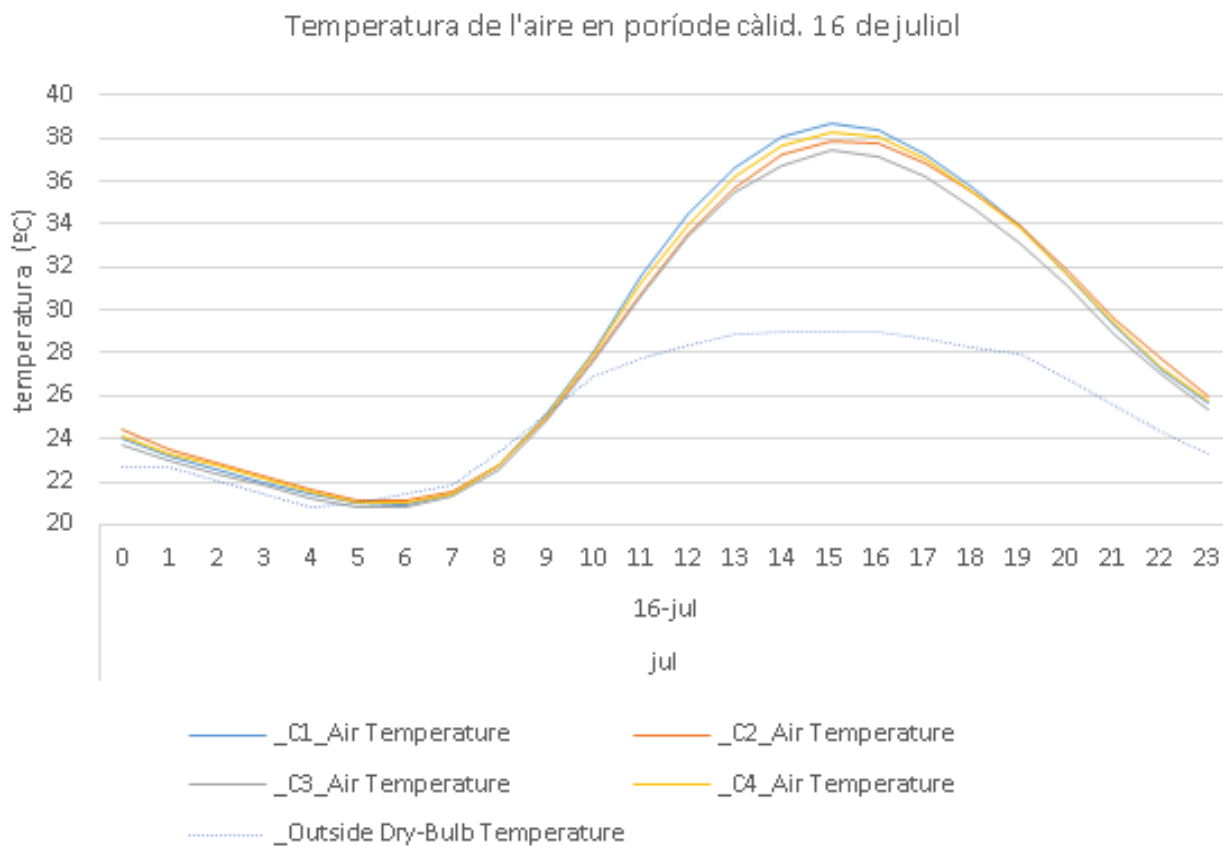
Tal i com es veu a les gràfica 6.36, el que realment és determinant és la quantitat d'energia que es guanya per l'obertura (gràfica 6.36). Tot i així, no deixa de ser sorprenent com en l'època estival, l'única solució que és capaç d'evacuar calor per la coberta és la C3 Reveton.

També cal destacar que el comportament del FLEXBRICK i ALGECOPLUS és molt similar.



Gràfica 6.36.

Font: OMR

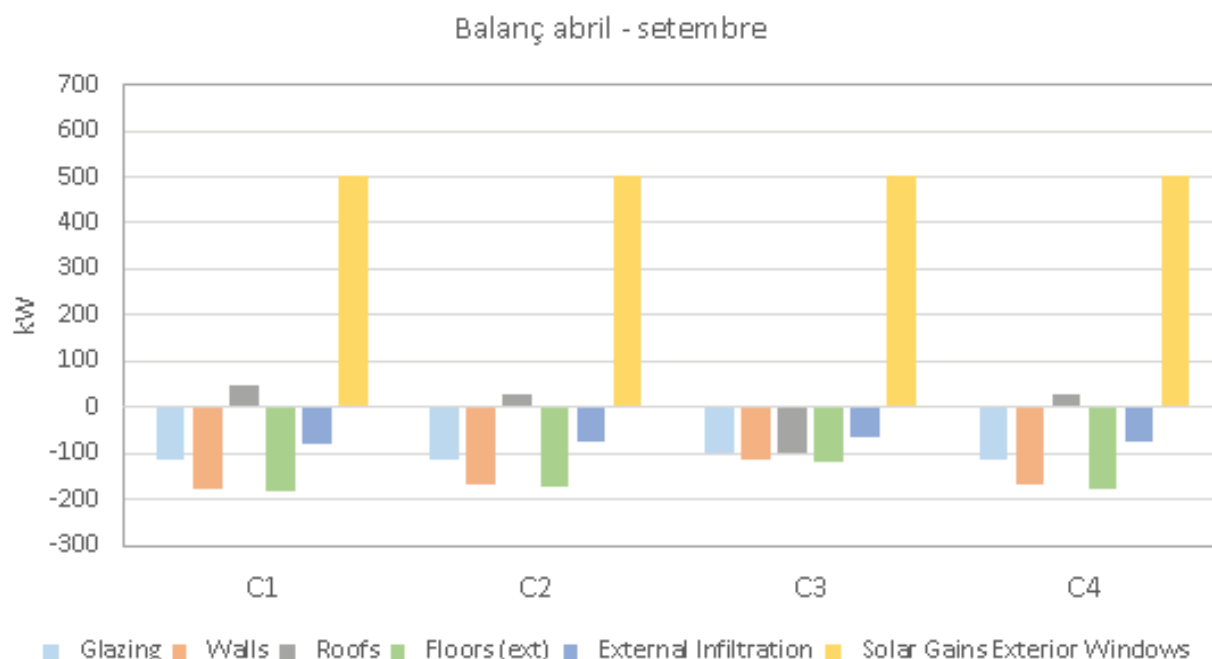


Gràfica 6.37.

Font: OMR

En l'època càlida, estudiant per un dia tipus (16 de juliol-gràfica 6.37-), s'aprecia a la gràfica com les diferències de temperatura són majors que a l'hivern. Altre cop l'ordre de més freda a més càlid és: C3 (REVETON), C2 (ALGECOPLUS). C4 (FLEXBRICK) I C1 (ALGECO).

Tal i com passava en l'època freda, el que realment defineix la temperatura interior és la radiació incident per la finestra (gràfica 6.38). Analitzats tots aquestes dues situacions, es vol remarcar:



C1-ALGECO // C3-ALGECO\_PLUS // C2-REVETON // C4-FLEXIBRICK

**Gràfica 6.38.**

**Font:** OMR

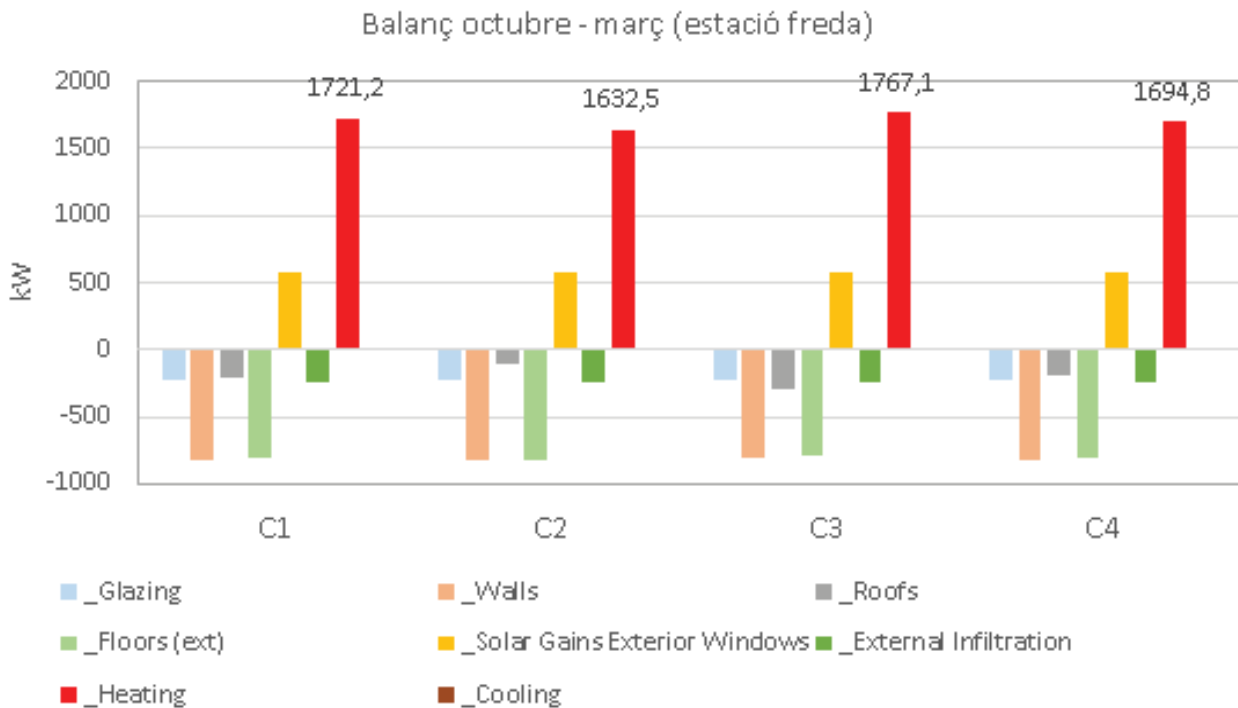
- A l'hivern els quatre cassos estan en una situació molt semblant i tots propers, en les hores de màxima radiació, de les 14,00 a les 18,00, les condicions a l'interior dels mòduls són les de confort. Per tan caldrà escalfar, o bé en dies sense radiació o bé en hores en que la radiació no incideix en la finestra. De totes maneres, repeteixo, no s'han considerat càrregues internes de possibles ocupants o màquines.
- A l'estiu, les diferències entre els 4 casos són lleugerament superiors, i tots sense excepció estan per sobre el nivell de confort des de les 10 del matí fins a les 22,00 hores. O sigui, a més a més de contrarestar les càrregues internes, la refrigeració haurà de treballar ininterrompudament durant tot el dia. A més a més, es podria considerar també el factor benèfic de la refrigeració nocturna, que segur mitigaria la temperatura interior a les primeres hores del dia.



## SIMULACIONS AMB CLIMATITZACIÓ.

Per regular la despesa energètica es marquen unes temperatures de confort que oscil·len entre els 20°C a l'hivern i els 26°C a l'estiu. El resultat de la simulació ens mostren la calor que cal aportar o extreure de cada un dels mòduls.

El balanç (gràfica 6.39) per a l'època freda, analitzats per sistemes es:



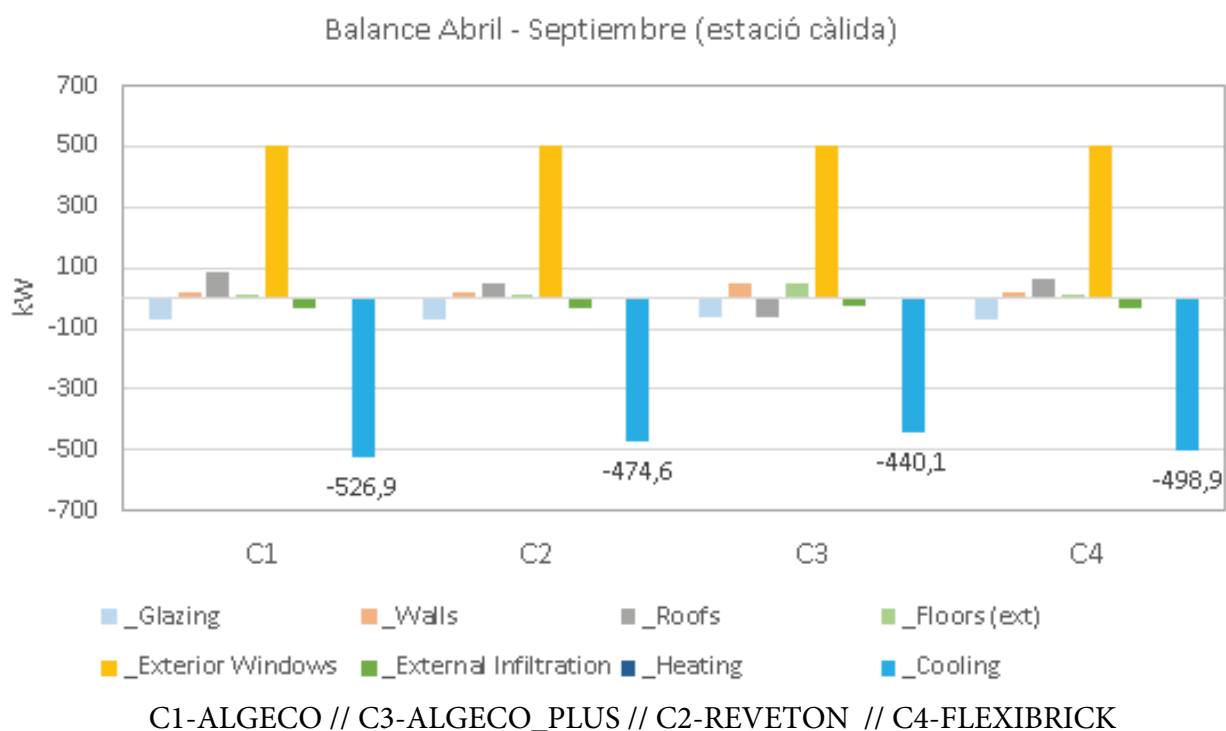
C1-ALGECO // C3-ALGECO\_PLUS // C2-REVEON // C4-FLEXIBRICK

Gràfica 6.39.

Font: OMR

Sobre la gràfica (gràfica 6.39) queden marcats la quantitat d'energia que cal aportar a cada un dels mòduls.

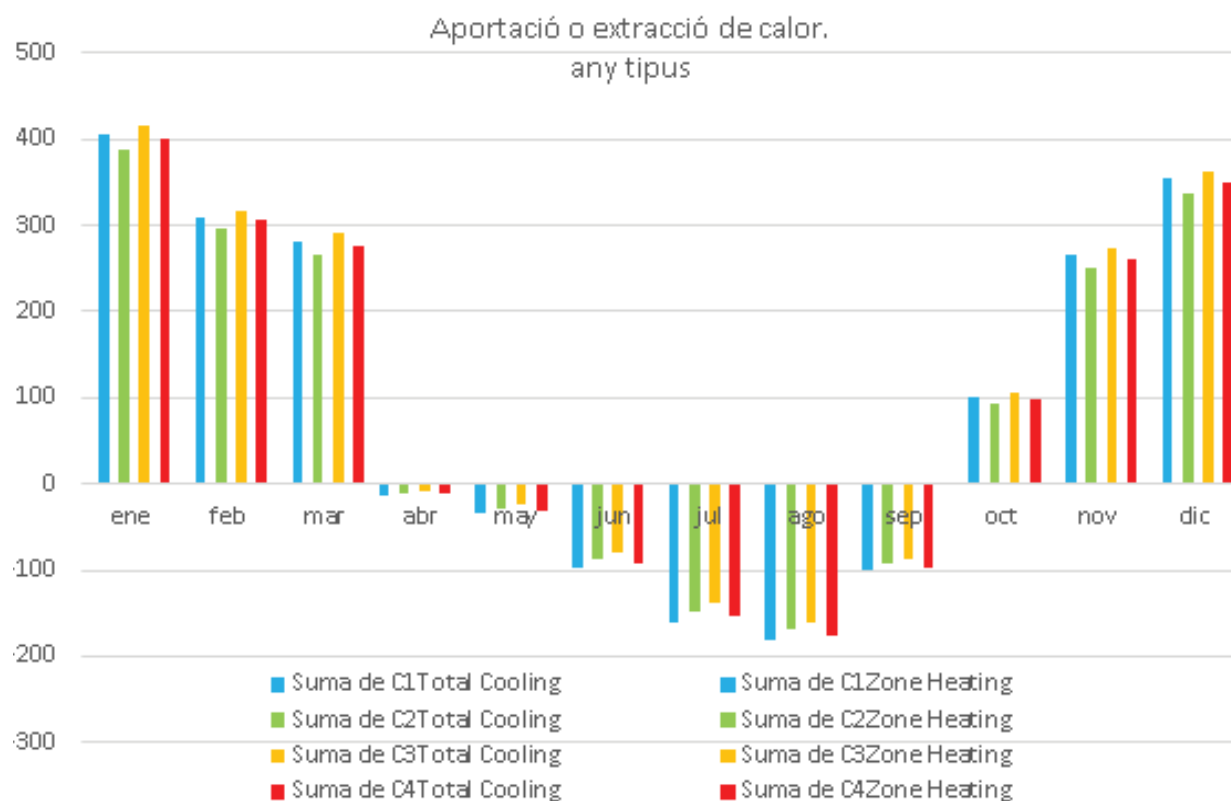
A les estacions càlides (gràfica 6.40), l'aportació d'energia és en negatiu, o sigui, extracció de calor.



Gràfica 6.40.

Font: OMR

Si aquestes aportacions d'energia s'analitzen més a més, obtenim (gràfica 6.41):



Gràfica 6.40.

Font: OMR


El sumatori anual de la gràfica anterior, es representa en la taula següent per a cada cas. En aquesta taula, en la fila gris hi ha l'energia destinada a aportar calor (heating) o refredar calor (cooling). En la fila verda, per a cada cas hi ha un percentatge, i el sumatori total d'energia que caldria per a tot un any (heating + cooling)

Cas	C1 (kWh) Algeco		C2 (kWh) Algeco Plus		C3 (kWh) Reveton		C4 (kWh) Flexbrik	
	Cooling	Heating	Cooling	Heating	Cooling	Heating	Cooling	Heating
KWh	-526.87	1721.69	-474.54	1632.92	-440.03	1767.52	-498.88	1695.27
KWh anual	2248.57	100.00%	2107.45	93.72%	2207.55	98.18%	2194.14	97.58%

De les dades de la taula podem definir quina és la solució de més eficient (menys demanda energètica) a menys eficient (més demanda energètica).

En aquesta taula resum, a modus de conclusió, es combina les columnes que fan referència al període temporal: Tot l'any, època d'estiu (mesos d'abril a setembre) i època d'hivern (octubre a març). En columnes també hi ha el percentatge d'estalvi sobre la solució amb més demanda energètica.

Anual	%	estiu	%	hivern	%
Algecoplus	93.72	Reveton	83.52	Algeco Plus	92.38
Flexbrik	97.58	Algeco Plus	90.07	Flexbrik	95.91
Reveton	98.18	Flexbrik	95.91	Algeco	97.41
Algeco	100	Algeco	100	Reveton	100



+
—

**Tal i com veiem, la solució amb menys despesa energètica és ALGECOPLUS, la qual té una disminució d'aproximadament un 7% sobre la menys eficient.**

**Per a l'època d'estiu la més eficient és la REVETON amb un estalvi de 16.5% sobre la menys eficient.**

**Per a l'època freda (hivern) la solució més eficient és ALGECOPLUS amb gairebé un 8% d'estalvi sobre la menys eficient.**

**Hi ha però algunes consideracions a fer:**

- A l'interior d'una construcció hi ha sempre càrrega interna (llum, ordinadors, persones...) que aporten calor, el que ens és favorable a l'hivern, però ens genera una demanda addicional d'energia a l'estiu.

- Les construccions modulars tenen problemes de sobreescalfament.
- Per últim recordar que la finestra orientada a sud no tenia protecció i es la principal causant dels guanys tèrmics tan a l'hivern com a l'estiu.

Així doncs, malgrat la solució REVETON tingui una penalització a l'hivern, té un comportament molt positiu a l'estiu. Aquesta solució, de ben segur, faria millorar el confort tèrmic per als usuaris de les construccions modulars i reduiria la despesa energètica per a la refrigeració dels espais.

També es vol remarcar la solució FLEXBRICK, ja que té un bon comportament en totes dues estacions (càlida i freda) amb uns estalvis sobre la demanda màxima d'aproximadament un 5%. I més enllà de la eficiència energètica, es vol recordar les possibilitats formals que té la solució de la malla ceràmica (porxos, gelosies...), a més a més de poder ser col·locada amb els mateixos mitjans que els necessaris per construir un edifici modular.

Remarcar, que aquestes deduccions, s'han fet per la zona de Tarragona. Catalunya té diversitat de climes i evidentment no són el mateix les condicions a la franja mediterrània que als pirineus.

Per últim es vol fer constar que la realitat és molt més complexa que una simulació. Certs efectes, com podrien ser les micro cavitats ventilades de la peça ceràmica, són pràcticament impossible de simular.



## CAPÍTOL 7: CONSIDERACIONS SOBRE LES COOL ROOF

En capítols anteriors s'han ofert molts arguments objectius i provats pels resultats obtinguts en els treballs de camp, de les virtuts de les cobertes fresques en general. Especialment, les deduccions s'han basat en la millora en el confort tèrmic de les estances situades sota les cobertes i en l'estalvi energètic en la refrigeració. Però més enllà d'aquestes virtuts, s'han deixat entreveure altres trets que poden aportar les cobertes fresques: reduir l'estrès tèrmic, millorar i augmentar la vida útil de les cobertes, etc... Aquest capítol és un recull de consideracions sobre les cobertes fresques.

### 7.1. ECONÒMIQUES

En aquest punt s'intenta determinar quin seria el preu màxim que podria assolir una coberta fresca, respecte una coberta convencional. No es tracta de determinar el preu màxim d'un producte en concret, si no de quin podria ser l'encariment potencial d'una solució concreta de coberta fresca respecte la mateixa coberta de construcció convencional. Evidentment, el preu d'execució material, no serà el mateix per una reparació d'una coberta que per la construcció d'una coberta en una obra nova, per tan aquest càlcul es fa a partir dels potencials estalvis en climatització per refredar que anirien associats a la coberta fresca.

Hipòtesi de Definició de preu màxim d'execució material que pot tenir una coberta fresca:

Es considera que per construir una coberta convencional hi ha un estalvi econòmic el qual es pot rendibilitzar durant un període de temps. Aquest estalvi serà el sobre cost màxim que podrà tenir la coberta fresca i, per tant, l'estalvi energètic que s'hauria d'assolir. Ara bé aquest dependrà de cada àrea geogràfica i el seu clima, del preu de l'energia i de les temperatures i necessitats de refrigeració del tipus d'edifici.

El tipus de càlcul per determinar quin ha de ser el preu màxim dels productes que ens proporcionin una coberta fresca, ha estat mot elemental i per a obtenir-lo s'han simplificat termes:

- Es considera un càlcul estàtic del preu del diner,
- Es pressuposa que la pujada de preu de l'electricitat és igual a la de l'IPC,
- I un rendiment igual per al llarg dels 10 anys d'amortització.

S'ha fet el supòsit de rendibilitzar la coberta amb 10 anys.

	TEMPS										
	any 1	any 2	any 3	any 4	any 5	any 6	any 7	any 8	any 9	any 10	
Cost construcció coberta + sobre cost coberta fresca CF											Total 0€ recuperació inversió
Cost coberta	CF x 1.02	CF x 1.02 1.02	CF x 1.02 1.02 1.02	CF x 1.02 1.02 1.02	CF x 1.02 1.02 1.02 ..					CF x 1.22	Sobre cost coberta fresca + rendiment del diner-estalvi kWh elèctrics

se suposa un 2% anual de rendiment del diner

rendiment anual 1,02

rendiment a 10 anys 1,22

Per tant queda:  $\rightarrow$  Coberta fresca  $\cdot 1,22 =$  estalvi energètic  $\rightarrow$  el cost màxim de la coberta fresca pot ser l'estalvi energètic/1,22.

**O sigui el sobre cost d'execució material màxim per passar d'una coberta “convencional” a una coberta fresca pot ser com a màxim el 80% de l'estalvi econòmic que genera en 10 anys.**

**Dit d'una altra manera, una coberta fresca serà econòmicament rentable quan, en un període de 10 anys, aconseguixi un estalvi econòmic en energia del 20%.**

## 7.2. MOVIMENTS TÈRMICS

L'estrès tèrmic de les cobertes, està produït per les dilatacions i contraccions que pateixen els materials deguts a les oscil·lacions i canvis de temperatura. Evidentment, la coberta, es un punt sensible a aquest efecte. Una de les virtuts de les cobertes fresques, és que la temperatura superficial, es redueix molt, gràcies a la reflexió i alta emissivitat dels materials de revestiment. Per tal de minimitzar desperfectes i reduir el risc d'envelliment prematur, el CTE apunta:



CTE Documento básico. SALUBRIDAD HS1 Protección frente la humedad. Punto 2.4 Cubiertas

#### *Juntas de dilatación*

1.- Deben disponerse juntas de dilatación de la cubierta y la distancia entre juntas de dilatación contiguas debe ser como máximo 15 m...

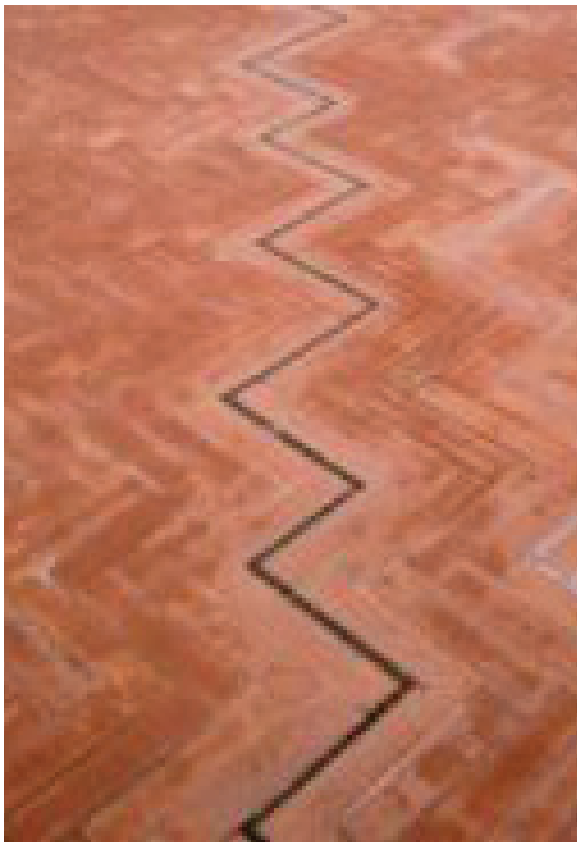
2.- Cuando la capa de protección sea de solado fijo, deben disponerse juntas de dilatación en la misma. Estas juntas deben afectar a las piezas, al mortero de agarre y a la capa de asiento del solado y deben disponerse de la siguiente forma:

a) coincidiendo con las juntas de la cubierta;

b) en el perímetro exterior e interior de la cubierta y en los encuentros con paramentos verticales y elementos pasantes;

c) en cuadrícula, situadas a 5 m como máximo en cubiertas no ventiladas y a 7,5 m como máximo en cubiertas ventiladas, de forma que las dimensiones de los paños entre las juntas guarden como máximo la relación 1:1,5.

3.- En las juntas debe colocarse un sellante dispuesto sobre un relleno introducido en su interior. El sellado debe quedar enrasado con la superficie de la capa de protección de la cubierta.



**Imatge 7.01.** Junta en coberta  
**Font:** desconeguda

Tal i com es pot llegir en el text superior el CTE preveu unes juntes de dilatació del paviment de coberta.

El codi ja diferencia entre cobertes no ventilades, on la junta ha de formar una quadrícula de 5x5 metres com a màxim. I cobertes ventilades on permet formar peces de fins a 7,5x7,5 m.

Disposar menys juntes té uns clars avantatges: rapidesa en la construcció del paviment de coberta i menys manteniment. A més a més pot tenir condicionants formals, ja que una junta elàstica té una presència important en coberta i no es assimilable a les altres juntes (veure imatge 7.01).

Per valorar en quin percentatge podria reduir-se les distàncies entre juntes ens hem servit de resultats obtinguts en les cel·les PAUS en la campanya experimental (Veure capítols 4 i 5).

S'ha fet les següent comprovacions a partir dels valors de temperatura obtinguts en la sonda situada en la cara superior del material d'acabat de coberta.

Els materials sobre els que s'ha treballat, han estat:

- Cel·la 0: ceràmica i material de referència
- Cel·la 1: ceràmica i pintura blanca de la casa Reveton.

Primer, s'han determinat el valor màxim i mínim de les temperatures superficials. La diferencia entre aquestes temperatures superficials ens donarà el màxim valor a canvis de temperatura a que es veuran sotmeses les peces.

	Temperatures superficials		
	max T <sup>a</sup>	minT <sup>a</sup>	dif T <sup>a</sup>
caixa 0 =	56,30	11,1	45,2
caixa 1 =	46,70	10,5	36,2

O sigui mentre que les peces de la caixa 0 (ceràmica roja) tindran un diferencial màxim de temperatura de 45,2°C, les de la caixa 1 (ceràmica pintada blanca) tindran una diferència màxima de temperatura superficial de 36,20°C.

La segona conseqüència es la distància que hi ha d'haver entre juntes de dilatació. El CTE defineix que les juntes no han d'estar a més 5 metres de distància. En aquest cas prenem la fórmula

$$\Delta L = \delta \cdot L_0 \cdot \Delta T$$

On:

$\Delta L$ : increment de longitud

$\delta$ : coeficient de dilatació tèrmica lineal ( $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ) =  $4 \cdot 10^{-6}$

$L_0$  = Longitud inicial

$\Delta T$ : diferència de temperatura

Tenint la distància inicial de 5 metres, el coeficient de dilatació tèrmica del material i la diferència de temperatures màximes en les caixes 0 i 1 podem:

- Calculem quina és l'allargament màxim per la diferència de temperatura màxima de la caixa 0 sobre una distància inicial de 5 metres.
- Amb aquest resultat (deformació tèrmica màxima), aïllem la longitud inicial de la fór-

mula i trobem, per la diferència màxima de temperatura de la caixa 1 quina seria la longitud inicial.

Caixa 0: Ceràmica roja	$\Delta L = \delta \cdot L_0 \cdot \Delta T_0$	$\Delta L_0 = ?$ $\delta = 4 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ $L_0 = 5\text{m}$ $\Delta T_0 = 45,2 \text{ } ^\circ\text{C}$	$\Delta L_0 = 0,001 \text{ m}$
Caixa 1: Ceràmica pintada blanca	Per la mateixa distància que s'allarga quina distància inicial podríem tenir?	$\Delta L_1 = \delta \cdot L_0 \cdot \Delta T_1$ $L_0 = \Delta L_1 / (\delta \cdot \Delta T_1)$ $L_0 = ?$ $\delta = 4 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ $\Delta T_0 = 45,2 \text{ } ^\circ\text{C}$	$L_0 = 8,1812 \text{ m}$

**O sigui en la peça ceràmica convencional les juntes s'han de disposar cada màxim 5 metres i en canvi en la mateixa coberta amb un tractament de coberta fresca les juntes podrien arribar a estar cada 8m.** Aquest resultat coincideix força amb el que defineix el CTE, ja que en cobertes ventilades permet que les juntes estiguin a una distància màxima de 7'5 metres.

Per últim s'han calculat les diferències de temperatures que hi ha entre intervals de 30 minuts. Aquest valor s'ha multiplicat per el coeficient de dilatació tèrmica lineal ( $^\circ\text{C}^{-1}$ ) –segons fitxa tècnica de Ceramics Calaf S.A.- i per la dimensió màxima de la peça, 280 mm. D'aquesta manera trobarem el moviment provocat per el canvi de temperatura en una peça. El sumatori de tots aquest valors (positius i negatius) serà tot el que s'ha deformat la peça o sigui l'estrès tèrmic.

De tots aquests valors n'hi ha de positius i de negatius. Els positius corresponen a dilatacions els negatius a contraccions. La suma total de totes dues xifres serà el valor de tot el recorregut que ha fet la peça.

	Dilatacions	Contraccions	Sumatori de dilatacions i contraccions
BX 0 (mm)	1,31891200	-1,34377600	2,7
Bx 1 (mm)	0,95726400	-0,97910400	1,9

Aquest valor expressa el moviment total que ha tingut una peça al llarg d'un mes. Tal com es pot apreciar a la taula el recorregut total de les rassilles convencionals és molt superior al de les rassilles tractades amb un producte cool roof..

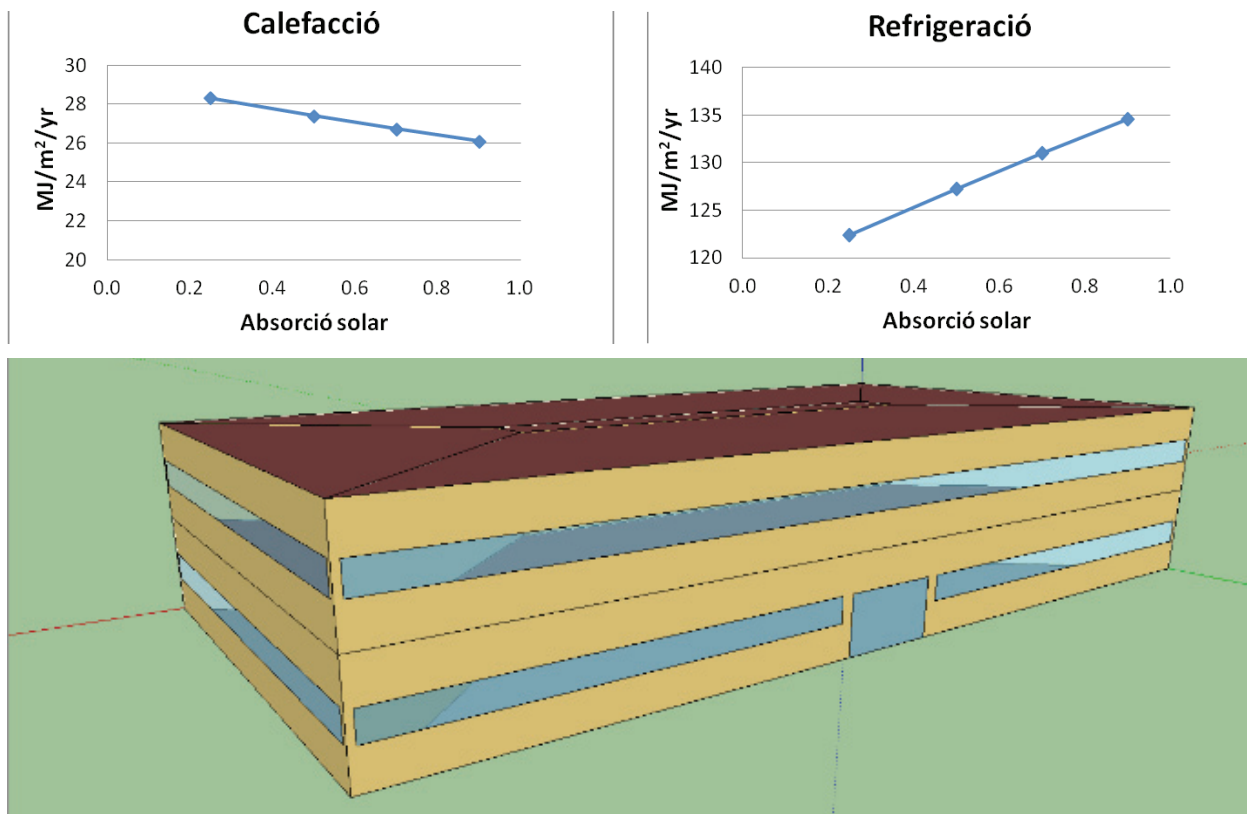
Tal i com s'ha provat, els moviments tèrmics d'una coberta de rajola ceràmica convencional són un 42% superiors al d'una coberta fresca. La reducció d'aquestes dilatacions i contraccions allargarà la vida útil de la coberta en reduir també la fatiga del material.

### 7.3. RELACIÓ ENTRE L'AÏLLAMENT PER REFLEXIÓ I PER CONDUCCIÓ.

Fins ara s'ha demostrat que les cobertes fresques són una bona estratègia per a mitigar l'escalfament superficial dels materials de coberta en les èpoques de màxima radiació solar. Ara bé, també és clar, que en èpoques hivernals, és absolutament necessari aïllar els tancaments i per tant la coberta també. La solució passarà per una coberta que contempli tots dos tipus d'aïllament (termorefectant i per transmissió).

José L Castro<sup>1</sup>, en la seva tesi doctoral, realitza bateries de simulacions energètiques, i acaba determinant solucions òptimes de coberta que contemplen sistemes d'aïllament per reflexió i per transmissió.

Per a un mateix edifici, en un clima concret, amb un programa d'ús determinant i unes temperatures de confort fixades, proposa diferents graus de reflexió (el programa EnergyPlus treballa amb les absorpcions dels materials) i de resistència tèrmica. Un cop definida la geometria de l'edifici, així com totes les característiques tan constructives com d'ús (veure imatge 7.02), es programen bateries de simulacions al llarg de l'any, variant el grau d'absorció i la resistència tèrmica de la coberta. Finalment, s'estudiava quina combinació aporta majors beneficis tèrmics (o sigui menor demanda energètica) al llarg de l'any per l'edifici estudiat.



<sup>1</sup> Dr. José L. Castro Aguilar Doctor en Física per la University of Technology Sydney (UTS),

Cas d'un edifici virtual d'oficines situat a Barcelona  
Simulacions amb EnergyPlus: ACH 1  
Sostre R-Value 3.2  
Paret R-value 2.8  
Càrregues internes: 9 W/m<sup>2</sup>  
Il·luminació, 15 W/m<sup>2</sup> equips,  
Ocupació 10m<sup>2</sup>/persona.  
Ta Consigna: 20 oC – 25 oC de 7am-6pm.  
La solució tècnica de coberta que s'analitza està composta per:

- membrana impermeable
- llosa de formigó armat
- aïllament de llana de roca
- cel ras de planxes de guix laminat

**Imatge 7.02.**

**Font:** Dr. José L. Castro Aguilar

Amb aquests exercici el Dr. José L Castro podria acabar definint una solució de coberta òptima, la qual contemplaria tan l'aïllament per reflexió com per conducció.

Però en aquest punt també es pretén assimilar un percentatge de reflexió a un gruix equivalent d'aïllament tèrmic per conducció. Evidentment aquesta seria una solució per les èpoques més càlides, en les que la radiació solar és més important.

Per buscar a quin gruix d'aïllament equivalent (en època estival) s'utilitza el full de càlcul C.6.4 Aislamiento+Flujo-Cerramientos.xls del professor Manuel Martín Monroy<sup>2</sup>.

Aquest full de càlcul permet obtenir la temperatura superficial d'un parament (ja sigui situat en un posició vertical o horitzontal) format per un o varis materials, a partir de definir la radiació solar, el grau d'absorció del material situat a la zona exposada a la radiació i les temperatures de l'aire a l'interior i exterior.

La deducció es farà per aproximació. A partir de les temperatures obtingues en una de les cel·les PAUS s'anirà provant gruixos d'aïllaments.

La forma d'obtenció de dades serà la següent:

- Primer: Introducció de les condicions tèrmiques i les característiques físiques del material amb alta reflexió (veure taules 2.01 i 2.02). Prendrem les dades obtingues en la cel·la PAUS (ceràmica pintada blanca).
- Segon: introducció de dades segons condicions d'un dia concert

---

<sup>2</sup> Dr. Arquitecte M. Monroy. mmonroy@dca.ulpgc.es Dr. Construcció Arquitectònica. Campus Tafira. Universitat de Las Palmas de Gran Canaria.

- Tercer: Obtenció de la temperatura superficial interior.
- Quart: Introducció de les condicions físiques del material convencional (ceràmica vermella) i gruix d'aïllament.
- Augmentar el gruix d'aïllament fins a obtenir una temperatura superficial interior igual a la obtinguda en el pas tercer.

És important esmentar que al mercat hi ha aïllaments de moltes característiques i preus, amb capacitats aïllants diferents segons la qualitat.

Per aquest cas prenem un aïllament tipus que comunament s'utilitza en cobertes planes:

MATERIALS (NBE-CT-79)	Densitat	Calor Específic	Conductivitat
	Kg/m <sup>3</sup>	J/Kg°C	W/m°C
Poliestirè extrusionat	33	1210	0,04

El dia i les condicions de temperatura amb les que s'ha treballat són les de dia 21/07/13 a les 13:00 hora solar. Aquest és un dia tipus de ple estiu (fer notar que no s'han pres condicions en un dia especialment calorós d'estiu).

	Canal 1. T <sup>a</sup> sup.ext (°C)	Canal 2. T <sup>a</sup> sup. int(°C)	Canal 3. T <sup>a</sup> int (°C)	Temp (°C)	Radiació (W/m <sup>2</sup> )
Ceràmica vermella	42,70	43,7	34,60	29	859
Ceràmica pintada blanca	34,50	33,0	29,40		

Es tracta de deduir quin gruix d'aïllament serà necessari per tal que la T<sup>a</sup> sup int (canal 2) de la cel·la amb ceràmica vermella sigui igual a la temperatura superficial interior (canal 2) de la cel·la amb ceràmica blanca, prenent com a partida les condicions de radiació i temperatura del dia i hora concreta. Veure en imatges següents dades encerclades en un cercle vermell.

CÁLCULO DE PROPIEDADES TÉRMICAS DE CERRAMIENTOS				© 2005- MMonroy@dca.ulpgc.es			
Descripción		Muro exterior de 2 hojas de Bloque hueco y Cámara de aire					
Capas de Materiales	Densidad	Calor Esp.	Conduc.	Espesor	Masa	Capacidad	Resistencia
Propiedades físicas	Kg/m3	J/Kg°C	W/m°C	m	Kg/m²	J/m²°C	m²°C/W
Arcilla amb pintura blanca	2100		0,93	0,015	32	0	0,016
	33	1210	0,03	0,000	0	0	0,000
Otro material			1	0,000	0	0	0,000
Otro material			1	0,000	0	0	0,000
Otro material			1	0,000	0	0	0,000
Otro material			1	0,000	0	0	0,000
Total Capas				0,015	32	0	0,016
Resistencias del aire/ Flujo calor		→	↑	↓	Resistencias superficiales		
Superficie al Exterior	0,04	0,04	0,04	Rse= 0,04			
Superficie al Interior	0,13	0,1	0,17	Rsi= 0,17			
Cámara de aire 1 cm	0,14	0,14	0,15	Espesor (m)	Resistencia cámara		
Cámara de aire 2 cm	0,16	0,15	0,18	0,000	Rc= 0		
Cámara de aire 5 cm	0,18	0,16	0,21	Introducir los valores que correspondan			
RESUMEN		Conductancia		Espesor	Masa	Capacidad	Resistencia
Propiedades Térmicas		W/m² °C		m	Kg/m²	J/m²°C	m²°C/W
Total Cerramiento		K o U= 4,422		0,015	32	0	0,226
FLUJOS DE CALOR EN RÉGIMEN ESTACIONARIO							
Sin soleamiento							
Temperatura Exterior Te (°C) =	29	Tse (°C) =	29,1	(Condensaciones?)		(Negativo = hacia fuera)	
Temperatura Interior Ti (°C) =	29,4	Tsi (°C) =	29,1	Tsi-Ti (°C) =	-0,3	Qi (W/m2)=	-1,77
Además con soleamiento							
Radiación exterior neta (W/m2)	859	Tse (°C) =	23,3	Tsol-aire =	34,2	Qe (W/m2)=	-107,83
Coefficiente absorción exterior (1:1)	0,15	Tsi (°C)=	33,0	Tsi-Ti (°C) =	3,6	Qi (W/m2)=	21,02
Comentario: Introducir datos en casillas blancas							

Taula 7.01. Taula 1: Dades de la caixa 2

Font: Dr. M. Mnroy. Aplicació OMR

CÁLCULO DE PROPIEDADES TÉRMICAS DE CERRAMIENTOS				© 2005- MMonroy@dca.ulpgc.es				
Descripción		Muro exterior de 2 hojas de Bloque hueco y Cámara de aire						
Capas de Materiales	Densidad	Calor Esp.	Conduc.	Espesor	Masa	Capacidad	Resistencia	
Propiedades físicas	Kg/m3	J/Kg°C	W/m°C	m	Kg/m²	J/m²°C	m²°C/W	
Arcilla	2100		0,93	0,015	32	0	0,016	
Poliestireno extrusionado	33	1210	0,04	0,032	1	39	0,800	
Otro material			1	0,000	0	0	0,000	
Otro material			1	0,000	0	0	0,000	
Otro material			1	0,000	0	0	0,000	
Otro material			1	0,000	0	0	0,000	
Total Capas				0,047	33	39	0,816	
Resistencias del aire/ Flujo calor		→	↑	↓	Resistencias superficiales			
Superficie al Exterior	0,04	0,04	0,04	Rse=			0,04	
Superficie al Interior	0,13	0,1	0,17	Rsi=			0,17	
Cámara de aire 1 cm	0,14	0,14	0,15	Espesor (m)	Resistencia cámara			
Cámara de aire 2 cm	0,16	0,15	0,18	0,000	Rc=			0
Cámara de aire 5 cm	0,18	0,16	0,21	Introducir los valores que correspondan				
RESUMEN		Conductancia		Espesor	Masa	Capacidad	Resistencia	
Propiedades Térmicas	W/m² °C		m	Kg/m²	J/m²°C	m²°C/W		
Total Cerramiento	K o U=		0,975	0,047	33	39	1,026	
FLUJOS DE CALOR EN RÉGIMEN ESTACIONARIO								
Sin soleamiento								
Temperatura Exterior Te (°C) =	29	Tse (°C) =	29,0	(Condensaciones?)		(Negativo = hacia fuera)		
Temperatura Interior Ti (°C) =	29,4	Tsi (°C) =	29,3	Tsi-Ti (°C) =	-0,1	Qi (W/m2)=	-0,39	
Además con soleamiento								
Radiación exterior neta (W/m2)	859	Tse (°C) =	50,5	Tsol-aire =	51,3	Qe (W/m2)=	-536,97	
Coefficiente absorción exterior (1:1)	0,65	Tsi (°C)=	33,0	Tsi-Ti (°C) =	3,6	Qi (W/m2)=	21,38	

Taula 7.01. Taula 2: dades de la caixa 0 + aïllament per aconseguir temperatura T<sub>si</sub> igual a la T<sub>si</sub> de la caixa 2

Font: Dr. M. Mnroy. Aplicació OMR



La taula comparativa de resultats:

	Coef. absorció.	Temp. sup. interior (°C)	Transmitància U (W/m <sup>2</sup> °C)	Gruix (m)	Flux (W/m <sup>2</sup> )	Guix aïllant (m)
CX0. Ceràmica vermella	0.65	33,00	4,422	0,015	21,38	0,032
CX2. Ceràmica esmaltada blanca	0.15	33,00	0.975	0,047	21,02	0

**Així, en aquest cas, l'aïllament tèrmic equivalent a tenir una coberta amb les característiques de reflexió i emissivitat definides en el quadre superior és de 3,2 cm.**

Aquesta no es una dada que ens puguem prendre com a norma, sinó un exemple de l'efectivitat en front la calor de les cobertes acabades amb aquestes característiques.

De totes maneres cal considerar que transformar una coberta convencional en una coberta fresca té un cost (segons la solució emprada) relativament baix. En canvi, incorporar un gruix d'aïllament pot significar una obra costosa, ja no tan per el material com per les obres complementàries, entre d'altres, afegir un material al damunt per tal de llastrar l'aïllament i que no es mogui en cas de fortes ventades. En aquest cas concert, caldria considerar l'augment de sobrepès de la coberta, cosa que caldria contemplar.

### 7.3.1. COST DE L'AÏLLAMENT TÈRMIC PER REFLEXIÓ VS CONDUCCIÓ

Parlar d'un cost econòmic d'un aïllament per reflexió o un per conducció, és un dilema totalment abstracte. L'últim paràgraf del punt anterior ja deixa entreveure que sovint, i sobretot en obres de manteniment, el cost real són les obres associades el que realment fan encarir.

Hi ha moltes variables que influencien en el cost d'una obra. Serà per a cada una d'elles on s'haurà de valorar quina es la solució que ens aporta més beneficis. Evidentment no és el mateix una obra de nova construcció que una obra de manteniment. O d'una coberta de 40 o 400 m<sup>2</sup>. O un habitatge unifamiliar i unes oficines...

També caldria preguntar-se, si la incorporació d'una coberta fresca ens pot aportar beneficis addicionals en la captació d'energia, en la ventilació o la millora en el rendiment dels aparells de fred. Aquests seran efectes, els quals serà molt difícil valorar.

Ara bé, a priori podem imaginar que sempre serà més fàcil la col·locació d'una capa addicional de revestiment en la superfície de la coberta (pintura, grava, vidre...) que haver de posar una capa d'aïllament addicional.

Així, no hi ha un barem que justifiqui poder parlar d'un cost o un altre per a cada tipus de solució. En cada cas s'haurà de sospesar quina és la solució idònia i compatible amb l'edifici en el que es pretén actuar.

#### 7.4. CONSIDERACIONS PER A L'APLICABILITAT EN DIFERENTS MODELS DE COBERTA.

Aquest punt, treballa sobre diferents models de coberta, i en cada cas estudia la viabilitat i les virtuts de transformar-les en cobertes fresques. Com es veurà, en totes les solucions de coberta, transformar-la en coberta fresca aporta avantatges.

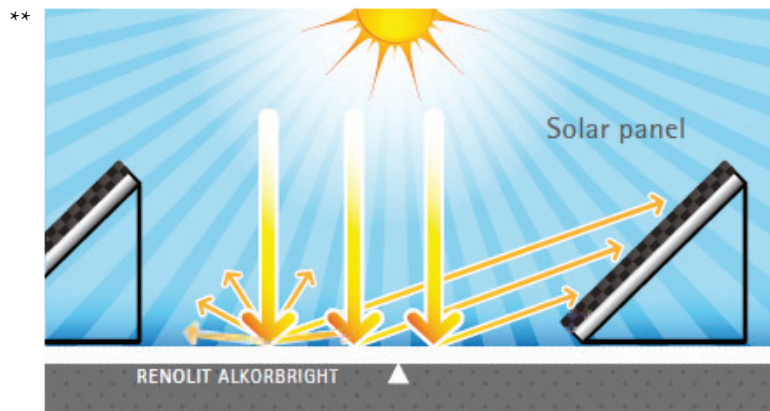
La primera classificació ordena les cobertes des de tres punts de vista:

- A. Segons l'ús
- B. Segons la captació de recursos
- C. Segons l'estratègia tèrmica de la coberta

Les taules incorporen una columna on s'especifica la viabilitat o no de transformar-les en cobertes fresques i la millora que representa.

A. SEGONS L'ÚS		Possibilitat coberta fresca
a1 cobertes aparcament		Factible. Paviments clars. Evitar enlluernament. Manteniment continuat.*
a2 coberta espai públic/ pista de jocs/ terrat		Sí però amb materials que no enlluernin. Manteniment continuat segons el programa. *
a3 coberta jardí	a31 intensiva	En els espais no enjardinats pot ser complementari
	a32 extensiva	Ídem
a4 coberta per instal·lacions		Òptim. Pot millorar tot els sistemes de plaques solars-ja siguin tèrmiques o fotovoltaïques-, ja que la reflexió difusa pot donar major rendiment a tots els sistemes de captació. (veure figura **)  Al mantenir-se a menor temperatura millora el rendiment de les màquines per refredar
a5 cobertes no accessibles		Òptim. Millorarem el comportament tèrmic de l'edifici i requerirà poc manteniment.

\*Aquests tipus de cobertes, degut al programa que s'hi desenvolupa, són construïdes amb materials molt pesats. Allargarà la vida útil de la coberta, així com les tasques de manteniment degut a la disminució de l'estrès tèrmic



[http://www.alkorproof.com/images/dld/46\\_77975\\_file.pdf](http://www.alkorproof.com/images/dld/46_77975_file.pdf)

La segona taula mostra quina incidència podria tenir en la captació de recursos (energia solar, aigua i vent). Evidentment no sempre s'hauria d'utilitzar el mateix model de coberta fresca. Actualment el mercat possibilita que qualsevol material de coberta pugui esdevenir fresc

B. SEGONS CAPTACIÓ DE RECURSOS			Possibilitat coberta fresca
b1 captació energia solar	b11 directe (hivernacle , llum)		En el cas d'hivernacles es pot proposar com a tècnica per a èpoques de sobre escalfament utilitzant malles d'ombreig amb alt grau de reflexió.* Per la captació de llum indirecte, com major reflexió més captació. El color òptim serà el blanc.
	b12 fotovoltaica	b121 plaques amorfes	Complementari, equilibres l'albedo general de coberta. Millores la captació amb la radiació difusa.
		b122 plaques rígides	Òptim. Pot millorar tot els sistemes de plaques solars , ja que la reflexió difusa pot donar major rendiment a tots els sistemes de captació. En tots dos cassos, mantenir la coberta més fresca ajuda a evitar l'escalfament de les plaques i augmentar el seu rendiment.
	b13 tèrmica	b131 sense vidre	Complementari, equilibres l'albedo general de coberta. Millores la captació amb la radiació difusa.
		b132 amb vidre	Complementari, equilibres l'albedo general de coberta. Millores la captació amb la radiació difusa.
		b133 amb tub de buit	Òptim, ja que el tub té capacitat de captació en tota la superfície

B. SEGONS CAPTACIÓ DE RECURSOS		Possibilitat coberta fresca
b2 captació d'aigua	b21 absorbents	Complementari
	b22 lliscants	Dependrà del tipus de material que es vulgui utilitzar. Per captar aigua el més eficient és una xapa. Important la no toxicitat dels lacats de les plaques. Actualment existeixen lacats amb emissivitats altes, considerats com a “cool roof”  A les Illes Balears, s'encalaven les cobertes per garantir la desinfecció de l'aigua d'esorrentia.
b3 captació de vent/aire	b31 captació per ventilar	Complementari. No per a captar aire, però una coberta freda, com que redueix les càrregues pot influenciar en el volum d'aire a ventilar.  L'aire als voltants de la coberta serà més fresc.
	b32 captació energia eòlica per generar electricitat	Complementari.
	b32 captació energia eòlica per generar electricitat	

\*La pantalla termo reflectora se instala en el techo del invernadero, para interponerse entre los rayos solares y las plantas. La radiación se refleja hacia arriba, y de esa manera se reduce la temperatura dentro del invernadero”.

POR QUÉ SON IMPRESCINDIBLES LAS PANTALLAS TÉRMICAS EN LOS INVERNADEROS Eleazar (Zari) Gal, Departamento Agrícola.Malla ALUMINET

Per últim s'analitza com la coberta fresca pot interferir amb altres estratègies tèrmiques i si aquesta és o no complementària.






C. SEGONS ESTRATÈGIA TÈRMICA DE LA COBERTA	Possibilitat coberta fresca
c1 cambres ventilades	<p>Complementari. Reduirem la temperatura de la cambra d'aire i conseqüentment la transferència de calor cap a l'interior. Graduam el flux d'aire es podria optimitzar la ventilació per cada estació de l'any.</p> <p>Disposar d'un acabat “fresc” farà millorar qualsevol solució de coberta ventilada. Reduir la temperatura de l'aire de la cambra ventilada ajudarà a millorar el confort en els espais immediatament inferiors.</p> <p>En el cas de la coberta a la catalana, pot millorar molt la durabilitat de la capa impermeable, ja que aquesta està per sobre la cambra ventilada.</p>

C. SEGONS ESTRATÈGIA TÈRMICA DE LA COBERTA		Possibilitat coberta fresca
c2 reflexió		Cas d'estudi.
c3 conducció (aïllament tèrmic)		<p>Complementari. Reduirem les càrregues tèrmiques a l'estiu i com es demostra afecte poc a l'hivern. Molt eficient en el cas de la coberta convencional o invertida amb acabat ceràmic pres amb morter, ja que reduïrem els moviments tèrmics i allargarem la vida de la coberta.</p> <p>L'augment de temperatura redueix la capacitat d'aïllar tèrmicament dels aïllants per conducció.</p>
c4 inèrcia tèrmica	c41 aigua (líquids)	l'aigua té una bona emissivitat tèrmica. I gran inèrcia tèrmica. En sí una coberta inundada ja es considera una coberta fresca.
	c42 sòlids	<p>Al treballar amb molta massa, la coberta fresca pot ser complementària en climes amb èpoques eminentment càlides, ja que durant el dia evitarà que la coberta s'escalfi, i per tant, el sostre serà, durant més hores, un bon absorbidor de calor.</p> <p>Al treballar amb emissivitats altes, durant la nit aconseguirem gran capacitat d'alliberar calor.</p>
c5 evaporació		Complementari

En segon lloc, es proposa una taula que contempla tots els tipus de coberta ordenats segons les seves variables, i en la qual ja es preveu que en el futur caldrà definir el grau de reflexió, emissivitat i RSI

Es parteix i es pren de base la classificació de cobertes feta per el professor Ignacio Paricio<sup>3</sup>, en la qual és relaciona el tipus d'impermeabilització (junts, pendents i tipus de materials) i les estratègies tèrmiques (cambra ventilada i aïllament) de la coberta, s'analitza quina relació hi ha entre la membrana impermeable i la capa d'acabat reflectant i en quins cassos poden o no ser coincidents.

<sup>3</sup> La Construcció de l'Arquitectura. 2 Els elements. Editorial: Institut Tecnologia Construcció

	Materials relativament impermeables		Materials absolutament impermeables		
	Junt obert	Junt tancat	Junt obert	Junt tancat	
Homogeni				Argiles	Amorfs
				Pintures projectats	
Embolcall estanc diferenciat	teula i pisarra 	coberta a la catalana 			Petits elements
Embolcall tèrmic diferenciat			xapes metàl·liques fibrociment 	membranes asfàltiques i polimèriques. Cob. invertida   H' coberta pav. flotant	Semiproductes
	Pendent $\geq 20\%$ Inclinada	Pendent $\geq 8\%$ De poc pendent		Pendent $\leq 3\%$ Plana	

**Taula 7.02.** Classificació Ignacio Paricio.**Font:** La construcció de l'Arquitectura. 2 Els elements

La impermeabilitat és la demanda bàsica d'una coberta. Ara bé la capa que determina si una coberta serà o no fresca, és la que queda exposada al sol. La proposta del següent quadre, parteix justament d'aquesta diferència.

En les ordenades hi ha definida la pendent necessari per a desaiguar la coberta.

També relaciona si la coberta és o no transitable. S'entén que si la coberta només s'hi accedeix per a manteniment, el grau de reflexió pot ser més exigent que en cobertes amb usos determinats.

La taula també defineix alguns materials comunament utilitzats per a la construcció dels models de coberta especificats.

Finalment, hi ha la previsió de tres columnes a la dreta (ombrejades) on caldria especificar la reflectivitat, l'emissivitat i l'IRS. Aquests espais queden reservats per el dia en que es determini la obligatorietat de cobertes fresques.

Com es veu a la taula totes les cobertes poden ser cobertes fresques, ja que tots els materials d'acabats de coberta poden tenir el seu homònim “fresc” Dependrà doncs del projectista que recomani o prescrigui el tipus de material de coberta per arribar a ser-ho o no.

Diferenciar entre aquelles cobertes en que la capa reflectant i la impermeable coincideixen és important ja que definirà, en cas d'obres de reforma o manteniment de cobertes, en quins cassos podem assolir una coberta fresca sense comprometre la impermeabilitat d'aquesta.

O sigui la possibilitat de portar a terme l'obra de millora sense haver de patir per desperfectes deguts a goteres, o sense que l'edifici reparat hagi de parar temporalment de funcionar.

Amb aquestes antecedents, l'autor de l'estudi, proposa la següent taula per tal de definir en un futur proper quins hauran de ser els valors de reflexió, emissivitat i Índex de reflexió solar (SRI) per les c



		Superfície reflectant lligat a capa impermeable	Superfície reflectant NO lligat a capa impermeable		Refelctivitat	Emissivitat de l'acabat	SRI
<div>↑</div> <div>més pendent (&gt;20%)</div> <div>menys pendent (0%)</div> <div>↓</div>	massa	Cobertes formades per petits elements:					
	<div>+</div> <div>↑</div> <div>-</div>	pedra					
		ceràmiques					
		formigó					
		plaquetes asfàltiques					
	xapes						
	metàl·liques						
	fibrociment						
				Coberta a la Catalana ceràmica			
		<div>massa</div> <div>+</div> <div>↑</div> <div>-</div>	Coberta convencional o invertida no transitable (graves o similar).				
			graves				
			marbre triturat				
			matxaca ceram.				
			vidre triturat				
				Coberta convencional o invertida transitable:			
				asfalt			
				panot			
				llosa filtron			
				pedra			
				Coberta paviment flotant			
				pedra			
				formigó			
				fusta			
	Membrana auto-protegides asfàltiques.						
	mineral						
	alumini						
	membrana polimèrica						
	EPDM						
	PVC						
lliure	Impermeabilitzacions “in situ” pintades o projectades						
no transitables: només manteniment			transitables				

**Taula 7.03.** Classificació de cobertes  
**Font:** OMR

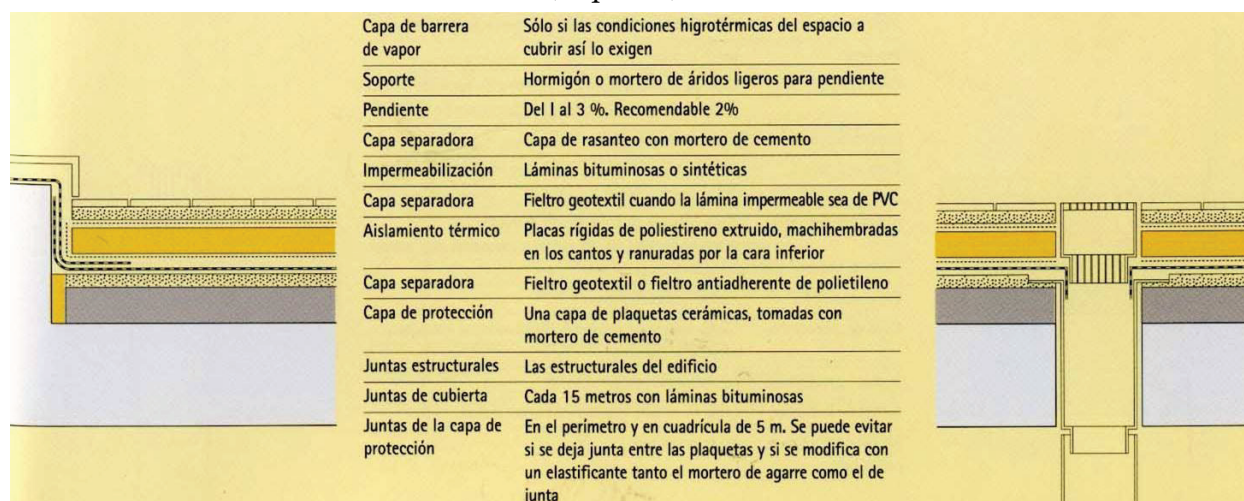
Per a les principals cobertes de la taula anterior es proposen uns models de fitxes específiques. En cada fitxa hi ha un esquema de la coberta, la descripció de les capes que la conformen i la solució per transformar-la en una coberta fresca amb proposta d'un material existent en el mercat.

Es preveuen dues columnes més, una per especificar els KWh elèctrics estalviats en climatització i una per afegir comentaris. Evidentment no es poden definir els estalvis sense la simulació i caracterització de tot l'edifici on es pretengui implementar la coberta.

Aquest tipus de fitxa es proposen per justificar l'ús o no d'una coberta fresca, i com a mesura d'estalvi energètic potencial.

A continuació hi ha el model de fitxa per a les solucions de cobertes més usuals:

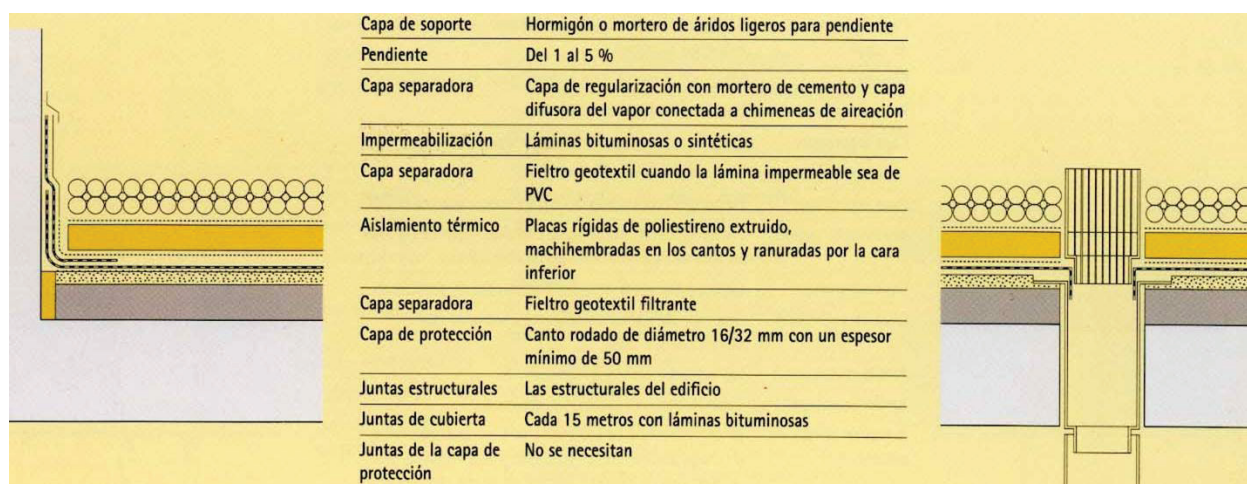
#### COBERTA INVERTIDA TRANSITABLE (esquema):



Tectónica núm. 6 (Cubiertas planas I) <http://www.itec.es/nouBedec.e/bedec.aspx>

Solució de coberta convencional:	Solució de coberta fresca	Estalvi en KWh elèctrics	Comentaris
1511GSE2 Cubierta transitable, formación de pendientes con hormigón de 150 kg/m <sup>3</sup> , aislamiento con placas de poliestireno extruido de espesor 60 mm, capa separadora, impermeabilización con una membrana de dos láminas de densidad superficial 7,2 kg/m <sup>2</sup> LO-40-FP de 130 g/m <sup>2</sup> y acabado de azotea con pavimento formado por dos capas de rasilla cerámica	Per a millorar aquesta coberta caldria posar una rasilla d'acabat més clara, per millorar la reflexió.		
Resistència tèrmica de la solució:			
Total cost: 71,55 €/m <sup>2</sup>	Total cost: ----€/m <sup>2</sup>	Total estalvi: ---€	
Cost MA Kwh: 177,99			
Emissions CO2 Kg: 90,07			

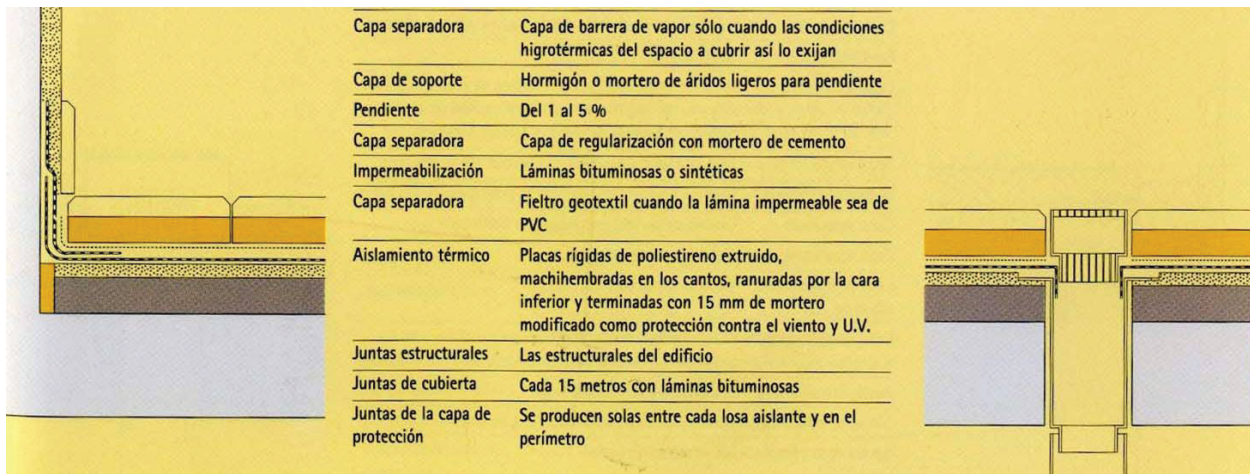
## COBERTA PLANA NO TRANSITABLE (esquema):



Tectónica núm. 6 (Cubiertas planas I) <http://www.itec.es/nouBedec.e/bedec.aspx>

Solució de coberta convencional:	Solució de coberta fresca	Estalvi en KWh elèctrics	Comentaris
15123TCH Cubierta invertida no transitable con pendientes de hormigón celular, capa separadora, impermeabilización con una membrana de una lámina de PVC flexible, aislamiento con placas de poliestireno extruido de 40 mm, capa separadora con geotextil y acabado de azotea con capa de protección de canto rodado	Per a millorar aquesta coberta caldria posar una grava blanca (residu de marbre o mat-xaca de formigó pintat). També s'ha experimentat amb vidre triturat de diferents colors		Pes de la coberta superior a:
Resistència tèrmica de la solució:			
Total cost: 42,10 €/m <sup>2</sup>	Total cost: ----€/m <sup>2</sup>	Total estalvi: ---€	
Cost MA Kwh: 163,88			
Emissions CO <sub>2</sub> Kg: 99,22			

COBERTA PLANA TRANSITABLE (esquema):

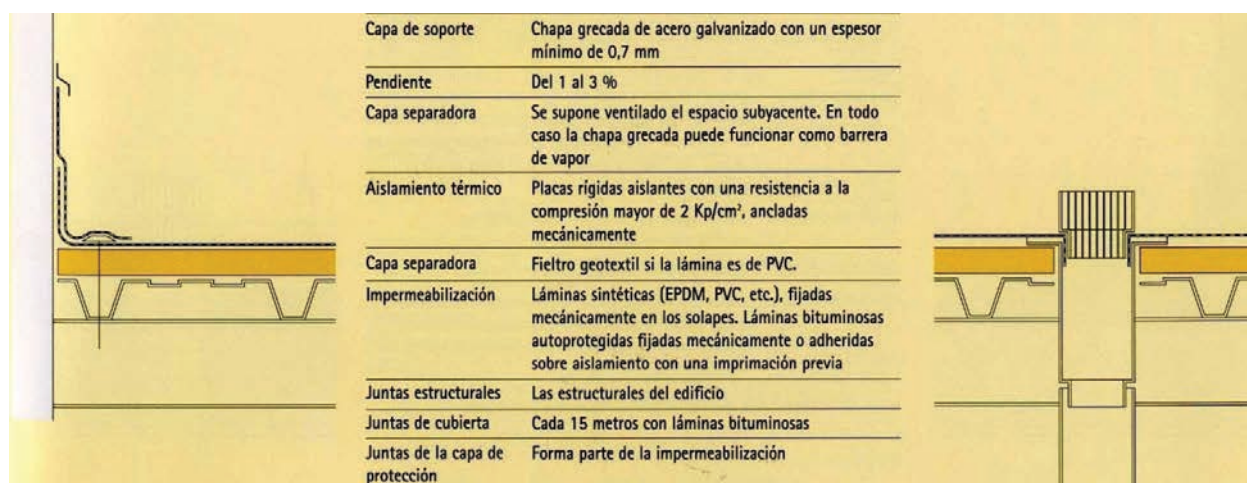


Tectónica núm. 6 (Cubiertas planas I) <http://www.itec.es/nouBedec.e/bedec.aspx>

Solució de coberta convencional:	Solució de coberta fresca	Estalvi en KWh elèctrics	Comentaris
<p>15114R1G</p> <p>Cubierta invertida transitable, con primera capa de regularización de mortero, capa separadora, impermeabilización con una membrana de una lámina de 1,2 mm de espesor de PVC flexible resistente a la intemperie colocada sin adherir, y acabado con pieza prefabricada de hormigón aligerado y filtrante con base de poliestireno extruido, de color gris de 30x40 cm, colocada sin adherir</p>	<p>Per a millorar aquesta coberta caldria posar un acabat de llosa de color clar. Cal no tapar el porus de la llosa de formigó, pintura plàstica.</p> <p>Mercat:</p> <p>La casa TEXA, fabrica la llosa "Tesslona R BLANCO"</p>		<p>Millora la captació de recursos: *</p>
Resistència tèrmica de la solució:			
Total cost: 63,22€/m <sup>2</sup>	Total cost: ----€/m <sup>2</sup>	Total estalvi: ---€	
Cost MA Kwh:			
Emissions CO <sub>2</sub> Kg: 67,98			



COBERTA PLANA NO TRANSITABLE. Sist. de coberta Deck amb fixació mecànica (esquema):



Tectónica núm. 6 (Cubiertas planas I) [http://www.generadordepreus.info/obra\\_nova/Cobertes/Planes/No\\_transitables\\_\\_no\\_ventilades/QAD043\\_Sistema\\_de\\_coberta\\_Deck\\_amb\\_fixacio.html](http://www.generadordepreus.info/obra_nova/Cobertes/Planes/No_transitables__no_ventilades/QAD043_Sistema_de_coberta_Deck_amb_fixacio.html)

Solució de coberta convencional:	Solució de coberta fresca	Estalvi en KWh elèctrics	Comentaris
“DANOSA”, tipus convencional, pendent del 1% al 5%, composta de: suport base: perfil nervat autoportant de xapa d'acer galvanitzat S 280 de 0,7 mm d'espessor, acabat llis, amb 3 nervis de 50 mm d'altura separats 260 mm; aïllament tèrmic: panell de llana de roca amb resines fenòliques, de 50 mm d'espessor; impermeabilització monocapa fixada mecànicament: làmina de betum modificat amb elastòmer SBS, tipus LBM(SBS) - 60/G - FP, Polydan P.F.M. 60 GP Elast “DANOSA”, de superfície autoprotegida (protecció amb grànuls de pissarra de color gris en la cara exterior i un film plàstic antiadherent en la cara interior), fixada mecànicament al suport amb 3 cargols d'acer cada m², de 65 mm de longitud,	Per a millorar aquesta coberta caldria posar un acabat de la membrana de color clar, o una membrana clara. Mercat: RENOLIT ALKOR-BRIGHT		Millora la captació de recursos: *
Resistència tèrmica de la solució:			
Total cost: 65,13€/m2	Total cost: ----€/m2	Total estalvi: ---€	
Cost MA Kwh:			
Emissions CO2 Kg:			

\*



Finalment, a modus d'exemple, també es proposa un sistema senzill, basat en el full de càlcul C.6.4 Aislamiento+Flujo-Cerramientos.xls del Doctor M. Monroy <sup>4</sup>, per acabar definint de forma aproximada l'estalvi energètic associat a la refrigeració

Per al primer tipus de coberta (coberta invertida transitable), i aprofitant el full de càlcul anomenat es compara el flux de calor que ens arribaria del sostre en el cas d'una coberta convencional i de la mateixa coberta convertida a una coberta fresca.

CÁLCULO DE PROPIEDADES TÉRMICAS DE CERRAMIENTOS				© 2005- MMonroy@dca.ulpgc.es			
Descripción	coberta invertida transitable						
Capas de Materiales	Densidad	Calor Esp.	Conduc.	Espesor	Masa	Capacidad	Resistencia
Propiedades físicas	Kg/m3	J/Kg°C	W/m°C	m	Kg/m²	J/m²°C	m²°C/W
cerámica blanca	1800	878	0,87	0,015	27	13	0,017
morter	2000	805	1,4	0,050	100	40	0,036
poiestirè extrusionat	33	1210	0,03	0,050	2	61	1,667
PVC	1350	0	0,18	0,002	3	0	0,011
sostre 20+4	1040	805	1,54	0,250	260	201	0,162
guix	800	880	0,3	0,020	16	18	0,067
Total Capas				0,387	407	333	1,960
Resistencias del aire/ Flujo calor	→	↑	↓	Resistencias superficiales			
Superficie al Exterior	0,04	0,04	0,04	Rse= 0,04			
Superficie al Interior	0,13	0,1	0,17	Rsi= 0,17			
Cámara de aire 1 cm	0,14	0,14	0,15	Resistencia cámara			
Cámara de aire 2 cm	0,16	0,15	0,18	Espesor (m)	Rc= 0		
Cámara de aire 5 cm	0,18	0,16	0,21	Introducir los valores que correspondan			
RESUMEN		Conductancia		Espesor	Masa	Capacidad	Resistencia
Propiedades Térmicas	W/m² °C		m	Kg/m²	J/m²°C	m²°C/W	
Total Cerramiento	K o U= 0,461		0,387	407	333	2,170	
FLUJOS DE CALOR EN RÉGIMEN ESTACIONARIO							
Sin soleamiento							
Temperatura Exterior Te (°C) =	35	Tse (°C) =	34,8	(Condensaciones?) (Negativo = hacia fuera)			
Temperatura Interior Ti (°C) =	25	Tsi (°C) =	25,8	Tsi-Ti (°C) =	0,8	Qi (W/m2)=	4,61
Además con soleamiento							
Radiación exterior neta (W/m2)	550	Tse (°C) =	51,0	Tsol-aire =	51,5	Qe (W/m2)=	-400,29
Coefficiente absorción exterior (1:1)	0,75	Tsi (°C)=	27,1	Tsi-Ti (°C) =	2,1	Qi (W/m2)=	12,21

Taula 7.04. Coberta invertida convencional (acabat amb ceràmica bruta)

Font: Dr. M. Monroy. Aplicació OMR

<sup>4</sup> Dr. Arquitecto M. Monroy. mmonroy@dca.ulpgc.es Dr. Construcció Arquitectònica. Campus Tafira. Universitat de Las Palmas de Gran Canaria.

CÁLCULO DE PROPIEDADES TÉRMICAS DE CERRAMIENTOS				© 2005- MMonroy@dca.ulpgc.es			
Descripción	coberta invertida transitable fresca						
Capas de Materiales	Densidad	Calor Esp.	Conduc.	Espesor	Masa	Capacidad	Resistencia
Propiedades físicas	Kg/m3	J/Kg°C	W/m°C	m	Kg/m²	J/m²°C	m²°C/W
cerámica blanca	1800	878	0,87	0,015	27	13	0,017
morter	2000	805	1,4	0,050	100	40	0,036
poiestirè extrusionat	33	1210	0,03	0,050	2	61	1,667
PVC	1350	0	0,18	0,002	3	0	0,011
sostre 20+4	1040	805	1,54	0,250	260	201	0,162
guix	800	880	0,3	0,020	16	18	0,067
Total Capas				0,387	407	333	1,960
Resistencias del aire/ Flujo calor	→	↑	↓	Resistencias superficiales			
Superficie al Exterior	0,04	0,04	0,04	Rse= 0,04			
Superficie al Interior	0,13	0,1	0,17	Rsi= 0,17			
Cámara de aire 1 cm	0,14	0,14	0,15	Espesor (m)	Resistencia cámara		
Cámara de aire 2 cm	0,16	0,15	0,18	0,000	Rc= 0		
Cámara de aire 5 cm	0,18	0,16	0,21	Introducir los valores que correspondan			
RESUMEN		Conductancia	Espesor	Masa	Capacidad	Resistencia	
Propiedades Térmicas		W/m² °C	m	Kg/m²	J/m²°C	m²°C/W	
Total Cerramiento		K o U= 0,461	0,387	407	333	2,170	
FLUJOS DE CALOR EN RÉGIMEN ESTACIONARIO							
Sin soleamiento							
Temperatura Exterior Te (°C) =	35	Tse (°C) =	34,8	(Condensaciones?)	(Negativo = hacia fuera)		
Temperatura Interior Ti (°C) =	25	Tsi (°C) =	25,8	Tsi-Ti (°C) =	0,8	Qi (W/m2)=	4,61
Además con soleamiento							
Radiación exterior neta (W/m2)	550	Tse (°C) =	40,2	Tsol-aire =	40,5	Qe (W/m2)=	-130,36
Coefficiente absorción exterior (1:1)	0.25	Tsi (°C)=	26,2	Tsi-Ti (°C) =	1,2	Qi (W/m2)=	7,14

Taula 7.05. Coberta invertida fresca (acabat amb ceràmica blanca)

Font: Dr. M. Mnroy. Aplicació OMR

El resum de resultats s'ordena en la taula següent:

	Rad int	Tsup int			
	W/m2	Tsi	Ti	Tsi-Ti	absortància
coberta invertida	12,21	27,08	25,00	2,08	0,75
coberta invertida fresca	7,14	26,21	25,00	1,21	0,25

La diferència entre la radiació de calor del sostre de la coberta invertida convencional, respecte la mateixa coberta fresca és de 5,07 W/m<sup>2</sup>. Sobre una construcció de 50 m<sup>2</sup>, això significa una potència de 253,49W ó 217,50 Kcal/h. Per fer-nos una idea de la magnitud, aquestes calories podrien equivaldre a la calor que guanyem per una finestra (marc metàl·lic i vidre simple) de 1,20 m<sup>2</sup> a les 14,00 a l'estiu.





## **CAPÍTOL 8. BASES PER A LA IMPLEMENTACIÓ DE LES COBERTES FRESQUES.**

Aquest capítol està dividit en tres parts.

En el primer punt es reflexiona sobre les diferents oportunitats i traves que poden sorgir per normalitzar l'ús d'aquestes revestiments de cobertes. En aquest sentit es fa un llistat de totes aquelles consideracions que caldria tenir en compte per a proveir d'un marc propici per a ser implementades.

El segon punt defineix quin marc caldria per a garantir l'èxit de l'aplicabilitat de les cobertes fresques a Catalunya.

Finalment es fa un compendi de pautes de disseny i recomanacions per a garantir l'èxit i bon funcionament de les cobertes fresques.

Moltes de les idees que s'expliquen en aquest capítol ja s'han anat exposant al llarg de tot l'estudi, o bé en són conseqüència directe de deduccions anteriors i ja han obtingut resposta en les conclusions durant les campanyes experimentals o bé amb els coneixements teòrics fins ara obtinguts.

### **8.1. OPORTUNITAT:**

Les cobertes fresques s'acabaran imposant. Aquesta serà, a curt termini de temps, una realitat que no podem eludir. Actualment ja hi ha països que imposen les cobertes verdes<sup>1</sup> o cobertes fresques<sup>2</sup>. Ja s'ha mencionat que, dins els conjunt de cobertes fresques en podem trobar de diferents tipus (blanques, enjardinades, inundades...), i segurament en el futur apareixeran noves tipologies de cobertes amb la mateixa finalitat: evitar l'esclafament de l'edifici i/o reduir l'efecte illa de calor en les àrees urbanes o densament construïdes.

Les cobertes fresques, siguin del tipus que siguin, donen resposta a dues situacions que actualment preocupen. Aquestes són:

- Millora l'eficiència energètica de les edificacions.
- Reduir l'efecte illa de calor.

Però, més enllà d'aquestes virtuts principals, les cobertes fresques aporten a les construccions, als espais interiors situats immediatament sota coberta i al medi ambient, altres bondats que també afavoriran la implantació d'aquestes.

---

<sup>1</sup> <http://www.elmundo.es/ciencia/2015/04/04/551ed2be268e3ecb4a8b4587.html>

<sup>2</sup> Veure punt 0.4.2.2 d'aquest estudi

### 8.1.1. PUNTS FORTS

Potser, de tots els arguments, el més important és la facilitat en que podem transformar una coberta “convencional” en una coberta fresca. En aquest sentit només cal modificar l’última capa de l’acabat de coberta, just el revestiment més superficial, per tal d’aconseguir augmentar la reflexió i emissivitat.

Aquest canvi el podem realitzar amb molts tipus de materials i tècniques. Les solucions de coberta fresca més senzilles i bàsiques poden arribar a ser únicament de micres de gruix i pesos absolutament menyspreables. Així doncs absolutament qualsevol tipus de coberta és pot convertir en coberta fresca. Malgrat tot, és evident que caldrà una prescripció prèvia per tal de destriar entre la solució de coberta fresca més adient per a cada cas.

Una altra virtut de les cobertes fresques és que immediatament després d’haver estat col·locat el revestiment fresc, ja és efectiu, sempre i quan hi incideixi la radiació solar. O sigui, les cobertes fresques ens protegeixen del sobreescalfament en les hores de màxima radiació solar, però no impedeixen radiar calor (de l’interior cap a l’exterior) en les hores nocturnes.

Com a resum d’aquests primers paràgrafs, cal incidir en aquestes tres característiques bàsiques, que bé podrien definir les principals particularitats de bona part de les solucions de coberta fresca:

- No han de ser blanques.
- No és una sobrecàrrega i no afegeix gruix a la coberta.
- És actiu des del moment d’aplicació i només quan incideix la radiació solar.

A continuació s’enumeren una sèrie de punts forts. Alguns d’aquests són complementaris, d’altres conseqüència, de les tres primeres característiques bàsiques enumerades:

- Patologia de les cobertes: Les cobertes són, dels sistemes de l’edifici que més manteniment requereixen. La seva degradació ve provocada per:
  - Els constants canvis de temperatura i humitat, els quals provoquen variacions i canvis de dimensió.
  - Els agents químics que s’hi dipositen, provinents de brutícia, pols, contaminació...
  - Les càrregues gravitatòries
  - L’ús de la coberta en si.

Aprofitar una de les reparacions de la coberta per augmentar l'albedo no serà ni més difícil ni més car.

- La majoria de cobertes no tenen un us concret i imprescindible per al funcionament de l'edifici, això permetria portar a terme les obres de rehabilitació o reparació sense interferir amb l'ús de l'edifici. I si bé, hi ha cobertes que ens podríem plantejar transformar-les en jardins, horts o espais d'esbarjo, també n'hi ha moltes que mai han estat plantejades per aquests usos i mai ho arribaran a ser. Són aquestes segones en les que caldria plantejar-se transformar-les en cobertes blanques.
- Sovint l'única funció que es demana a l'última capa de la coberta és llastrar les plaques de l'aïllament tèrmic, la membrana impermeable o protegir les capes inferiors dels raigs ultraviolats del sol. Per tant podem transformar una coberta convencional amb una coberta fresca, sense que en cap moment en depengui l'estanquitat a l'aire i la impermeabilitat. És més, podem aconseguir una coberta fresca simplement pintant l'última capa d'acabat, o afegir-ne una de nova
- Remarcar la possibilitat de l'aprofitament de materials de rebuig. Actualment hi ha un problema amb el reciclatge de la majoria dels materials provinents de la de-construcció, enderroc o sobrants de cantera. Aquest estudi ha promogut la viabilitat d'utilitzar materials de rebuig per a cobertes fresques<sup>3</sup>. Aquest podrien ser simplement triturats: formigó, ceràmica, vidre... O bé triturats i pintats.
- El cost econòmic de construcció d'una coberta fresca en front d'una coberta convencional no suposa un increment substancial. En canvi hi ha un estalvi econòmic associat a la reducció del consum en els aparells de climatització per a refredar en èpoques càlides. Evidentment també hi ha una millora en el confort tèrmic pels usuaris que habiten en espais disposats directament sota la coberta.
- El canvi climàtic actual ens està portant a tenir més temporades amb altes temperatures i etapes càlides més llargues. Les exigències de la normativa actual preveu sistemes de millora tèrmica a les cobertes bàsicament per evitar la pèrdua de calor, però no per evitar els guanys i sobreescalfament. Aquesta estratègia permet millorar el confort sense necessitat de guanyar gruixos a la coberta per augment de l'aïllament tèrmic.
- Les actuals normatives intenten reduir la demanda energètica a l'edificació, les cobertes fresques s'adequa a les polítiques presents d'estalvi energètic.
- És clau fer entendre que més enllà del mateix edifici, els beneficis són a escala ciutat i fins i tot mundial.

---

<sup>3</sup> Veure annex 7 del present estudi.

### 8.1.2. OBSTACLES / IMPEDIMENTS.

La naturalesa dels obstacles o impediments per a la implantació generalitzada de les cobertes fresques, poden ser de diversa índole: tècnics, culturals, econòmiques o simplement per desconeixement i desconfiança...

Alguns d'aquests impediments són específics de Catalunya i alguns concretament de Barcelona. D'altres són d'abast més genèric i objectiu:

- Les cobertes blanques poden generar reflexions molestes. No sempre el blanc serà el millor color. Ara bé, com ja s'ha dit, les cobertes fresques poden ser de gairebé qualsevol color i qualsevol material.

Les cobertes fresques no estan limitades, ni per la forma, ni per el color, ni per la majoria de materials. Pràcticament totes les solucions de coberta poden esdevenir cobertes fresques.

En alguns punts la reflexió pot provocar enlluernaments. Si mirem les indústries situades a les proximitats de l'aeroport del prat, detectem forces edificis de la zones properes amb cobertes clares. (imatge 8.01)

És evident, que en depèn quines circumstàncies la reflexió pot ser molt molesta, però hi ha moltíssimes cobertes que podrien ser absolutament blanques sens generar incomoditats.



**Imatge 8.01.**  
**Font:** Google Earth

- Culturalment no estem acostumats a veure cobertes de colors clars i menys encara de color blanc. És més, actualment les ajudes a la rehabilitació (en el cas de Barcelona ciutat) no permeten acabats que no mantinguin un to cromàtic similar al terrós. En realitat la majoria d'ordenances municipals defineixen uns acabats concrets per les cobertes per tal de no perdre una imatge “tradicional” de les edificacions.

Ara bé, les construccions industrials (naus, magatzems...imatge 9.01) la majoria dels quals tenen una gran proporció de coberta, no acostumen a estar regides per normes estètiques tan rígides. I és en aquesta tipologia edificatòries on trobem molts exemples de cobertes blanques o clares. És segurament en aquest tipus d'edifici on primer caldria començar a implementar les cobertes fresques.

- Una coberta absolutament blanca o clara, dificulta poder realitzar activitats en aquell espai, almenys en hores de forta radiació. Per tant, una coberta blanca no es apta per a realitzar segons quines activitats.
- La implantació de l'aïllament termorefectant de cap manera substitueix a l'aïllament per conducció en la nostra latitud. És el conjunt de tots dos el que garantirà una solució òptima. Només en latituds més meridionals, en climes molt més càlids i en edificis que no disposin de climatització, l'aïllament termorefectant per ell sol pot ser una bona solució.
- Una coberta blanca no substitueix una coberta verda. Una coberta enjardinada, pot reportar molts beneficis, tan a escala urbana com en el mateix edifici, potser més, fins i tot que una coberta blanca. Malgrat tot la complexitat tècnica, la sobrecàrrega, l'ús o el manteniment de les cobertes enjardinades poden desaconsellar aquestes solucions. En aquests casos les cobertes fresques (blanques o no) són una bona alternativa. És més, en el cas que la coberta sigui l'espai on estan situats els panells de captació, una coberta blanca, pot reportar més beneficis que una coberta verda.

### 8.1.3. AVANTATGES

L'estudi ha posat de manifest tota una sèrie de virtuts i arguments del per que les cobertes haurien de tendir a ser cada cop més “fresques”. El llistat següent és un resum d'aquests avantatges els quals s'han anat revelant durant la investigació:

- La menor fluctuació tèrmica al llarg del dia, fa que les cobertes amb revestiments frescos pateixin menys i garantiran una vida útil més llarga.

- Les cobertes sovint són el suport de les plaques fotovoltaïques o tèrmiques per a captació de radiació solar tan sigui per produir electricitat com per escalfar aigua. Tal i com s'ha vist les cobertes fresques generen millors rendiments per als sistemes de captació, ja que les plaques reben la radiació directa i la reflectida. Però a més a més, les plaques fotovoltaïques milloren el seu rendiment per que s'escalfen menys.
- Si aconseguim reduir la temperatura de les cobertes, els intercanviadors de calor (condensadores) situats en aquestes tindran un millor rendiment a l'estiu, ja que l'aire que els envoltarà estarà menys calent.
- El refredament per ventilació dels edificis durant les hores nocturnes serà molt més eficaç, ja que la temperatura al sostre i al voltant de l'edifici seran menors degut a que han absorbit menys radiació solar.
- El manteniment i consum d'aigua d'una coberta reflectant és menor que el d'una coberta verda.
- Depenent de la latitud on es troba l'edifici, el comportament al llarg d'un any d'una coberta fresca (comptabilitzant els estalvis d'estacions càlides i sobre costos de les estacions fredes), acaba essent beneficiós per al còmput anual de consum energètic per climatització. El consum energètic per refredar és menor en edificis que disposen d'una coberta fresca. Evidentment el consum per escalfar augmenta lleugerament. Cal recordar que, la percepció de confort en edificis amb refredament artificial per aire genera alts percentatges de desconfort entre els usuaris.
- Les estances i habitacions situades sota una coberta fresca, en èpoques estivals, disposaran de major confort.
- Sobre-aïllar amb materials que dificulten el pas de calor per conducció és sobretot positiu a l'hivern, però en canvi dificulten l'evacuació de calor de l'espai interior a l'estiu. Els aïllaments per reflexió són únicament efectius per evitar el sobreescalfament per la radiació solar directa. Per tant la solució òptima passa per una combinació de totes dues estratègies.
- L'aïllament termorefectant actua únicament sota la radiació solar. Per tant, en el cicle d'un dia d'estiu, actua durant les hores de més intensitat de radiació, evitant absorbir més part de la radiació solar i llavors menys quantitat es transformarà en calor i menys quantitat de calor entrarà a l'edifici. En canvi es “desactiva” en les hores nocturnes, permetent que el calor interior sigui re-emès a l'espai.



- Les cobertes fresques poden combinar la reflexió amb processos fotocatalítics<sup>4</sup> per a reduir la pol·lució en àrees urbanes

Per tan, per les raons aportades en el punt 9.1.1, així com el llistat anterior, sembla inevitable pensar que les cobertes fresques seran una realitat (i una obligació) en un termini relativament curt de temps.

## 8.2. MARC GENERAL PER A L'APLICABILITAT DE LES COBERTES FRESQUES A CATALUNYA.

*“I believe that the cool roof is a good energy-saving measure for Spanish buildings”. John Arent, Senior Engineer Architectural Energy Corporation*

Cal un marc favorable per generalitzar l'ús de les cobertes fresques a Catalunya. Per assolir aquest marc són necessàries una sèrie de consideracions prèvies per tenir les bases que ens permetran desenvolupar i implementar aquesta estratègia energètica:

1. Definició de valors límit de reflexió, emissivitat i SRI<sup>5</sup> (Solar Reflection Index) per a:
  - a. Tipologies del suport de la coberta: planes o inclinades, lleugeres o pesades
  - b. Us de l'edifici
  - c. Requeriments energètics de l'edifici.
  - d. Tipologia de la intervenció: obra nova o obra de reforma.
  - e. Material actual d'acabat de coberta.
  - f. Climatologies existents en l'àmbit territorial en que es desenvoluparà l'obra.
  - g. Massa global de la solució de coberta.

---

<sup>4</sup> <http://nanopurificador.com/productos/que-es-pintura-fotocatalitica/>

<sup>5</sup> Calculat amb ASTM E1980. <https://www.astm.org/Standards/E1980.htm>.

## 2. Econòmiques:

*“We have done studies comparing the incremental costs of the cool roof to the economic energy benefits over the expected life of the roof (15 years for commercial), and have shown that the energy savings is greater than the incremental costs, for California climates. The energy savings should be similar for your climate, but the energy costs and roofing product costs may be different in Spain.” John Arent,*

- a. Hi ha increment de preu entre els materials “frescos” i els convencionals?
- b. Quin estalvi en la potència de la màquina de fred es pot considerar? I estalvi di recte i periòdic en la despesa energètica?
- c. Té un sobre cost durant l'època freda?
- d. Hi podria haver subvencions directes o indirectes per recolzar la iniciativa?
- e. Cobertes més durables amb menys manteniment. Quantificació.
- f. Es poden contemplar millores en el clima per la reducció de l'efecte illa de calor?

## 3. Legals:

- a. Normatives d'àmbit nacional que recolzin l'estratègia. Implementar-ho al CTE. Definició de valors límits per a cada climatologia. Contemplar també el factor de forma, ja que en edificis d'una sola planta, la millora en la demanda energètica, pot tenir important reducció.
- b. Ordenances d'àmbit municipal que defineixin els valors de “coberta fresca”, tipus de coberta i tipus d'acabat a realitzar a la zona.
- c. Programes de difusió i subvencions per la aplicació de cobertes fresques.
- d. Solució considerada en el programari oficial per a la certificació energètica<sup>6</sup>.
- e. Estandarditzar com avaluar si un material es pot considerar fresc o no. Crear un segell per identificar quins materials són considerats freds<sup>7</sup>.

---

<sup>6</sup> Actualment la “herramienta unificada Lider Calener (HULC)” contempla ja el color de la coberta

<sup>7</sup> Veure <http://coolroofs.org/product-rating/overview> de Cool Roof Rating Council.

## 4. Constructives i arquitectòniques:

- a. Base de dades amb compilació de materials “frescos”<sup>8</sup> existents al mercat i aptes segons cada tipologia de coberta. Una coberta fresca no té per que ser blanca. Pigments frescs (veure tipologies de materials al mercat Americà<sup>9</sup>) i segells per justificar.
- b. Definir una metodologia vàlida, acceptada per les normatives estatals, per identificar de forma crítica quins materials poden tenir la consideració de ser acceptats per a ser usats en cobertes fresques.
- c. Contrastar les “cobertes fresques” vs “cobertes amb aïllament tèrmic”. Pot una coberta fresca modificar el grau de transmitància? Es pot reduir el gruix d’aïllament tèrmic per transmissió gràcies a la aplicació d’un revestiment fresc?
- d. Quines millores suposa com a estratègia passiva? Quina quantitat de “calor” no entra a l’edifici? En quin grau millora el confort a l’interior de l’edifici?
- e. Revestiments de cobertes amb menys estres tèrmic, allargament de la vida de la coberta. Es pot modificar o reduir el nombre de junts disposats per dilatacions tèrmiques?
- f. Hi ha productes disponibles que ja es poden considerar frescos? Quins?
- g. Segons quines geometries i orientacions de cobertes poden potenciar encara més l’efecte de les cobertes fresques. Quines?
- h. Segons quines solucions de coberta poden potenciar els requeriments de captació de recursos de l’edifici. Es podria proposar que sempre que calgui captar radiació solar (panells tèrmics o fotovoltaics) s’hagi de disposar sobre una coberta fresca de cara a optimitzar el seu rendiment?

---

<sup>8</sup> Veure <http://coolroofs.org/products/results> del CRRC

<sup>9</sup> Als EEUU els materials han d’haver obtingut el segell que proporciona el CRRC (Cool Roof Rating Council). Un cop analitzats amb les ASTM preestablertes i seguint els procediments que defineix el consorci. [www.energydesignresources.com](http://www.energydesignresources.com).

5. Ambientals:

- a. Ambients interiors amb menys requeriments d'aire condicionat. Espais més confortables.
- b. Tot el calor que no absorbim, com que el reflectim, pot modificar l'efecte illa de calor en les grans ciutats. En quina mesura?
- c. La utilització massiva d'aquesta estratègia pot reduir el pic de demanda energètica elèctrica a les èpoques estivals. En quin grau? Quin percentatge d'emissions de CO<sub>2</sub> estalviem?
- d. Poden afectar totes aquestes mesures a reduir l'impacte del canvi climàtic.
- e. Analitzar el cicle de vida de les solucions i productes per a cobertes fresques. Verificar que la utilització/ manufacturació d'aquests productes no genera més emissions de les que estalvia.
- f. Si s'utilitza de forma massiva aquesta estratègia, en poden esdevenir beneficis no previstos: millora del rendiment de les màquines de fred (condensadores), més eficiència en el free cooling o ventilació nocturna...

### 8.2.1. NORMALITZACIÓ DE LES COBERTES FRESQUES

Per la correcta i exitosa implantació de les cobertes fresques, en primera instància caldria un marc legal que regulés aquest tipus de coberta. A més a més caldria fer un esforç de sensibilització i difusió de les cobertes fresques, tan en la ciutadania en general com en tècnics i industrials.

La manca de control, podria derivar en solucions no provades. Aquestes podrien generar desconfiança degut a resultats que no es corresponguessin amb el que s'esperava.

Caldrà doncs generar una normativa que normalitzi aquest tipus de cobertes. Els següents paràgrafs expliquen les virtuts i avantatges de la normalització de processos<sup>10</sup>:

*... normalització aquella activitat que té com a finalitat establir solucions a situacions repetitives.*

Entenem per norma aquell document tècnic amb les característiques següents:

---

10 PROJECTES (INGINYERIA INDUSTRIAL) © Josep Bellvehí i Xavier Espinach // ISBN: 84-8458-226-4

- Conté especificacions tècniques d'aplicació voluntària.
- És elaborat amb el vistiplau de totes les parts interessades.
- Es fonamenta en els resultats de l'experiència i el desenvolupament tecnològic.
- Ha de ser aprovat per un organisme internacional, nacional o regional de normalització.
- Està a disposició de totes les persones interessades.

Per tant, podem considerar que les normes ofereixen un llenguatge comú entre:

- empreses,
- administració i
- usuari.

I estableixen un patró de confiança entre:

- client i
- proveïdor

### AVANTATGES DE LA NORMALITZACIÓ:

Per als fabricants:	Racionalitza tipologies de productes.
	Disminueix el volum d'existències.
	Disminueix els costos de producció.
	Millora la gestió.
	Millora el disseny.
	Agilitza les comandes. Facilita la comercialització.
	Facilita la comercialització.
	Facilita l'exportació.
	Simplifica la gestió de compres.
Per als consumidors:	Estableix nivells de qualitat de productes i serveis.
	Estableix seguretat tant pel que fa als productes com als serveis.
	Informa de les característiques del producte.
	Facilita la comparació entre diferents ofertes.
Per a l'Administració:	Simplifica l'elaboració de textos legals.
	Estableix les polítiques de qualitat, mediambientals i de seguretat.
	Ajuda al desenvolupament econòmic.
	Agilitza el comerç.

A grans trets, el marc regulador i normalitzador de les cobertes fresques hauria de contemplar:

- En quines zones climàtiques cal ser més o menys exigent. Evidentment, com més càlida i com major intensitat de radiació solar, més important serà l'aplicació de cobertes fresques.
- Situació de l'edifici. En les zones densament construïdes: àrees urbanes, polígons... la coberta fresca té la doble funció d'evitar l'escalfament de l'edifici, però també de reduir l'efecte illa de calor.
- En quines tipologies constructives aquesta estratègia és especialment eficient. (tal i com s'ha vist en capítols anteriors, la massa –directament lligada amb la inèrcia tèrmica- de la coberta és una variant important)
- En quina tipologia d'obres serà d'obligada aplicació la coberta fresca: obra nova, rehabilitacions integrals, reparacions....

Sobre els materials (o solucions) caldria definir:

- Índex de reflexió i d'emissivitat dels materials. Cal una bona definició de les característiques físiques (en especial de l'emissivitat i reflexió) dels materials. Aquestes característiques físiques les haurà d'avaluar un organisme competent i homologat.
- Formació i conscienciació dels tècnics (arquitectes, enginyers, aparelladors, caps d'obra...) de la bondat i beneficis de les cobertes fresques.
- És necessari que els programes de simulació oficial permetin:
  - Modificar els valors de reflexió i emissivitat
  - Que avalin de forma fefaent els resultats obtinguts.

A més a més, el mateix programa hauria de proposar els percentatges ideals de gruix d'aïllament convencional (per conducció) i les característiques de reflexió i emissivitat de l'aïllament termore-flectant. El mateix edifici de referència<sup>11</sup> podria contemplar mesures de coberta fresca.

### 8.3. PAUTES DE DISSENY.

Cal recordar que aquest treball només s'ha centrat en les cobertes planes (terrats) i és d'aquestes que

<sup>11</sup> Terminologia del programari oficial HULC del Código Técnico de la Edificación . <http://www.codigotecnico.org/index.php/menu-recursos/menu-aplicaciones>

s'oferiran les pautes de disseny. Malgrat tot, moltes de les pautes que es consideren per les cobertes planes són igualment vàlides per les cobertes amb pendent.

- Les cobertes de materials petris (generalment amb emissivitats altes) i de color clar, es poden considerar com a cobertes fresques. Com més tendeixi al blanc el color d'acabat de coberta més efectiu serà.
- Les cobertes fresques poden ser de qualsevol color. Això és gràcies als pigments selectius freds, aquells que reflecteixen l'infraroig proper, part de l'espectre de la radiació solar que més energia ens aporta. Malgrat tot l'eficiència d'aquestes mai serà com la d'una coberta blanca.
- En les cobertes fresques es poden augmentar la distància entre els junts de dilatació del paviment, ja que estan sotmeses a menys estrès tèrmic.



**Imatge 8.02.** Estat de les rassilles exposades en les cel·les PAUS a la ETSAB en el moment de desmuntar.  
**Font:** OMR

- Diferenciar entre obra nova (podem treballar també amb la massa de l'últim sostre) o rehabilitació.
- Tan important com l'índex de reflexió és l'emissivitat del material. Cal tenir en compte que pintar sobre una ceràmica amb una pintura blanca, però amb baix índex d'emissivitat, no té per que ser una bona solució.



- Si aportem revestiment fresc i massa tèrmica per l'exterior, en èpoques estivals millora molt i no és perjudicial en èpoques fredes. Si aquests factors els combinem amb cambres ventilades la millora en confort tèrmic a l'estiu es encara més positiva.
- Quan es pretén transformar una coberta de ceràmica en una coberta fresca, encapsulem la ceràmica sota una membrana impermeable. Això pot provocar una degradació molt més veloç de la peça ceràmica. Veure la imatge 8.02

#### 8.4. CATÀLEG DE BONES PRÀCTIQUES I RECOMANACIONS

Aquest catàleg és un recull de les experiències que ens han aportat bons resultats en les proves que s'han fet sobre les cel·les PAUS o sobre els mòduls ALGECO. Així no pretén ser un decàleg de com fer les cobertes fresques a Catalunya, però sí que pot servir a aquells projectistes que pretenguin implementar aquest tipus de cobertes en els seus edificis.

Considerem dues escales de recomanacions: Escala edifici i escala revestit de coberta. No es faran especificacions a escala urbana, doncs, malgrat ja s'ha anat enumerant les virtuts, la complexitat per avaluar-ho objectivament ha quedat fora de l'abast d'aquest estudi. Les recomanacions que a continuació s'enumeren, són fruit dels estudis experimentals portats a terme i per la zona geogràfica on s'han desenvolupat.

Recomanacions a escala edifici:

- Les cobertes fresques són efectives per a problemes de sobreescalfament degut a la radiació solar.
- Les solucions de coberta fresca, són més efectives en edificis amb poca massa tèrmica que en solucions de coberta molt pesades.
- Com major sigui el percentatge de coberta respecte el conjunt de l'envolupant de l'edifici, major rendiment traurem de la coberta fresca.
- Les cobertes fresques seran especialment efectives en aquells edificis amb una gran càrrega tèrmica interna (moltes persones o aparells), doncs el consum de calefacció en aquests edificis és menor o inexistent. Això farà que la penalització en consum d'energia per escalfar a l'hivern sigui mínim.
- Una coberta fresca reflectant, no transforma diametralment el comportament de l'edifici, ja que hi poden haver altres paràmetres que influèncin de manera més significativa en el sobre escalfament.

Recomanacions a escala de revestit de coberta:

- Les solucions de coberta fresca són més efectives quan tractem tota la peça d'acabat i no només l'acabat superficial (a igualtat de color).
- Una pintura no és un bon paviment per segons quines activitats. Té un desgast molt superior.
- Els vitrificats al forn en indústria i les formes geomètriques (en quan provoquen ombres pròpies) tenen un comportament més uniforme al llarg del temps.
- La pintura s'embruta més que els lacats o vitrificats al forn.
- El rendiment a reflexió de la pintura és extraordinari al començament però té una baixada en eficiència considerable al llarg del temps. Aquesta afirmació és segons els resultats obtinguts en els estudis que s'han portat a terme (ETSAV i ALGECO Tarragona), i per les característiques ambientals d'aquestes zones.
- Quan es revesteixen materials molt porosos i lleugers les pintures han de mantenir característiques com la porositat del material que revesteix.
- La massa tèrmica (del revestiment de coberta, no del conjunt global de la coberta) i ventilació són dues bones aliades.
- Cal evitar aiguafons on no marxa l'aigua, aquests s'embruten molt més, degut a l'acumulació de pols i es degraden els revestiments.
- Considerar l'emissivitat del material, ja que és el que ens oferirà la capacitat de radiar cap a l'exterior com a mesura per refrescar.
- Els pigments frescos (aquells que no són blancs, però reflecteixen l'infraroig proper), malgrat funcionar bé no tenen un rendiment tan bo com els materials cromàticament clars. Poden ser opcions vàlides per situacions on calgui realment acabats superficials foscos.
- Els materials d'acabat de coberta amorfs (graves o materials de rebuig), generen micro càmeres d'aire i ombres pròpies que milloren el funcionament de la coberta. Com més clar sigui el material millor rendiment tindrà la coberta. És important tenir gruixos de 7-8 cm com a mínim.



## CAPÍTOL 9. CONCLUSIONS FINALS

Aquest és un resum de conclusions deduïdes directament de les diferents etapes de la recerca que s'ha dut a terme sobre les cel·les PAUS (capítol 4 i 5) i sobre els mòduls ALGECO (capítol 6). Per tant, sobre el tipus de construccions i condicions especificades en els capítols corresponents.

### 9.1. ESTUDI CEL·LES PAUS

#### 9.1.1. ESTADI 1

Un dels primers objectius era quantificar en quina mesura són capaços de reduir la temperatura interior de la cel·la utilitzant materials de revestiment de coberta comunament emprats a Catalunya (ceràmica i formigó porós) als quals se'ls ha modificat el color per tal de tornar-los més clars.

Els estudis realitzats revelen que en horari diürn les temperatures a l'interior de la cel·la es mantenen per sota els 26°C un 20% més del temps en els materials emblanquinats respecte els mateixos amb els colors originals. Durant l'agost aquest percentatge era del 5%.

Aquest funcionament òptim per a l'estiu, pot voler dir sobre costos a l'hivern, però en els 2 anys sencers analitzats es va determinar que:

- Període càlid (cooling): mesos càlids (juny, juliol, agost, setembre), les cel·les cobertes amb materials frescos es mantenen durant molt més temps per sota les temperatures de referència o confort.
- Període fred (heating): mesos freds (desembre, gener, febrer, març) no hi ha diferències substancials i totes dues estan per sota la temperatura de confort. Èpoques de transició (primavera i tardor) més temperades (abril, maig, octubre i novembre), les cel·les amb cobertes fresques es mantenen a temperatura inferior a la de confort. Però reduir la temperatura interior, en aquestes èpoques de l'any pot significar major confort.

Així amb les cel·les PAUS, modificar l'acabat de coberta per a que sigui més reflectant, és molt beneficiós a l'estiu i té baixa incidència a l'hivern. És doncs una bona solució al llarg de tot l'any.

Econòmicament, els estalvis associats a la refrigeració, durant els anys estudiats han estat han arribat a ser de fins a 21€/cel·la, o sigui 5,5€/m<sup>2</sup>

Així doncs, hi ha un estalvi en energia per refrigerar, o sigui econòmic, important entre els materials analitzats i els seus homònims blancs. Aquest estalvi és superior quan major massa tèrmica tenim.

Per últim, s’ha analitzat la pèrdua d’eficàcia de la pintura al llarg de dos anys (2011 al 2013). Així la mateixa pintura sota una irradiància solar de 750W/m<sup>2</sup>, el 2011 es mantenia a 36°C, en canvi el 2013 es mantenia a 39,5°C.

### **9.1.2. ESTADI 2**

En aquest estadi es proven materials d’acabat de coberta de diferents textures i colors. Aquests, ordenats segons la seva capacitat de mantenir-se frescos sota la radiació solar i per tant mantenir l’interior de la cel·la a menor temperatura, per ordre de més fresc a menys fresc són:

1. Ceràmica blanca llis
2. Ceràmica blanca textura
3. Formigó porós blanc
4. Ceràmica pintada blanca
5. Grava blanca
6. Ceràmica vermella
7. Formigó porós
8. Ceràmica amb pigments selectius freds.

Cal però comentar:

- Es preveia que, per efecte de la convecció i tenir major coeficient de forma, la ceràmica amb textura seria més capaç d’evacuar calor que la ceràmica llisa. No ha estat així.
- Tan important com el color d’acabat és el color del substrat. Així, les ceràmiques blanques (materials 1 i 2), lacat blanc sobre ceràmica blanca s’han mantingut més fresques que la ceràmica vermella pintada de blanc.
- La grava blanca, durant les hores nocturnes, és el material amb més capacitat d’evacuar calor.
- El formigó porós blanc, es capaç de mantenir fresc l’interior de la cel·la durant el dia però, degut a la major massa tèrmica, durant la nit dificulta la evacuació de calor.

- La ceràmica esmaltada amb pigments selectius freds, era de color molt fosc, per tant, malgrat reflexar la radiació infraroja, no aconsegueix mantenir l'interior més fresc que el material de referència. Durant les hores nocturnes té major capacitat de radiar calor que la ceràmica vermella (material de referència) i es refreda més ràpidament.

Altres conclusions importants:

- Els materials frescos, en quan s'escalfen menys, es redueixen el moviments tèrmics, el que ens podria permetre reduir el nombre de junts en el paviment d'una coberta i passar de la distància màxima ara autoritzada de 5m a 8m. La reducció d'aquets dilatacions i contraccions constants, allargaria la vida útil del paviment i sobretot de la membrana impermeable. En resum, allargaria la vida útil de la coberta.
- Una coberta reflectant de ceràmica pintada blanca, equival en un dia d'estiu, a un guix de 3,2cm de poliestirè extrudit. I si s'ha de valorar econòmicament, sempre serà més barat pintar l'acabat de la coberta que afegir un gruix d'aïllament tèrmic, amb totes les obres associades que comporta.
- Per últim una conclusió de caire més genèric, però no menys important respecte els fabricants de materials. Curiosament, en un país amb tanta tradició en argila cuita en el món de la construcció, no hi ha cap producte nacional "cool roof" amb base ceràmica (teules, rajoles...) que es promoció com a fresc. I potser es justament per això –o sigui petites empreses familiars amb poca tirada a l'exportació-, doncs tots els productes que s'han trobat i es comercialitzen a Catalunya amb l'adjectiu "cool" son de multinacionals, amb mercat a tot el món. Es presenta doncs una via per als productors de cara a millorar i diversificar el seu producte.

## 9.2. CONCLUSIONS DE L'ESTUDI FET PER ALGECO.

### 9.2.1. CONCLUSIONS DELS SISTEMES PASSIUS

Aquesta investigació es presenta com un encàrrec fet per ALGECO al doctorand per tal de millorar l'eficiència energètica i el confort dels usuaris dels mòduls prefabricats. Actualment aquest mòduls tenen problemes de sobreescalfament i les noves solucions de coberta havien d'evitar aquest fenomen.

Les solucions de millora que s'estudien són:

- Solució REVETON: pintar la coberta de blanc.
- Solució ALGECO PLUS: doblar la coberta amb un aïllament i una xapa.
- Solució FLEXBRICK: malla de peces ceràmiques de color clar.

Les conclusions, comparant amb la solució estàndard d'ALGECO són:

- Les solucions ALGECO PLUS i REVETON es mantenen a temperatures inferiors. Es- sent les temperatures del mòdul REVETON molt inferiors.
- La solució REVETON, té un refredament molt més ràpid degut a la facilitat de radiar calor de l'interior cap a l'exterior.
- La solució FLEXBRICK té unes temperatures interiors semblants a la solució ALGECO PLUS a l'hivern i a l'estiu.

Malgrat tot, degut a la obertura (finestra) del mòdul tots tres assoleixen temperatures interiors elevades, o sigui per els mòduls ALGECO, en èpoques de forta radiació, és més important la pro- tecció solar de les obertures que no la millora de la coberta, sigui quina sigui la solució adoptada.

### 9.2.2. CONCLUSIONS DELS SISTEMES ACTIUS

Els experiments en els quals es refredava o escalfava amb sistemes actius l'interior dels mòduls, els resultats amb refrigeració, no són en absolut versemblants. Una explicació possible, és que el rendiment de les bombes de calor en règim de fred instal·lades en cada un dels mòduls és molt diferent. Per tan l'eficiència dels aparells de climatització, pot desajustar una bona estratègia de climatització passiva. En altres paraules, podríem entendre que invertir en estratègies actives que perden l'eficiència, pot arribar a tenir un rendiment molt baix al llarg del temps, i per tant, tenir un període d'amortització molt més llarg del previst. En canvi, apostar per estratègies passives (aïllament, proteccions solars, estanquitat...) són accions que tenen poca degradació amb el pas del temps.

Amb això, es vol remarcar la importància del bon disseny per al correcte funcionament tèrmic d'un edifici. Lògicament si el confort no s'assoleix amb els sistemes passius, caldrà de sistemes actius que ho recolzin, però aquests últims tenen moltes més possibilitats de fallar, de perdre efici- ència o de crear desconfort, que els sistemes passius.



I és per aquest motiu que qualsevol edifici, per tal d'optimitzar el seu funcionament, hauria d'estar monitoritzat durant un període de temps, fins ajustar les variables d'ús, de climatització, i dels mecanismes mòbils de les estratègies passives.

### 9.2.3. CONCLUSIONS DE LES SIMULACIONS ENERGÈTIQUES:

#### 9.2.3.1. SIMULACIONS EN RÈGIM LLIURE.

En el període anual, en l'època càlida, d'abril a setembre, l'única solució que no té guanys per la coberta és la solució REVETON, les solucions amb FLEXBRICK i la ALGECO PLUS, tenen uns guanys gairebé Malgrat tot, els guanys majors es produeixen per la finestra.

Durant el període fred, octubre a març, la coberta que genera més pèrdues, es la REVETON, la solució que menys en genera és la ALGECO PLUS les solucions FLEXBRICK i ALGECO convencional són pràcticament iguals.

#### 9.2.3.2. SIMULACIONS AMB CLIMATITZACIÓ

La següent taula mostra, amb percentatges sobre la demanda energètica, en el conjunt de tot l'any, per a l'estiu i per a l'hivern, ordenats de la solució de coberta més eficient a la menys eficient.

Anual	%	estiu	%	hivern	%
Algecoplus	93.72	Reveton	83.52	Algeco Plus	92.38
Flexbrik	97.58	Algeco Plus	90.07	Flexbrik	95.91
Reveton	98.18	Flexbrik	95.91	Algeco	97.41
Algeco	100	Algeco	100	Reveton	100



Sobre la taula es vol remarcar que:

- A l'interior d'una construcció hi ha sempre càrrega interna (llum, ordinadors, persones...) que aporten calor, el que és favorable a l'hivern, però ens genera una demanda addicional d'energia per a refrigerar a l'estiu. Dit d'una altra manera, disminuiran els requeriments de calefacció a l'hivern i augmentaran els de refrigeració a l'estiu.
- Les construccions modulars, d'aquí l'origen d'aquest estudi, tenen problemes de sobreescalfament i per tant es pretenia millorar en solucions de coberta que reduïssin l'escalfament.



## **ANNEX 0: FUTURES RECERQUES I MILLORES**

### **MILLORES EN LES CEL·LES PAUS:**

Les cel·les PAUS, segueixen estant a la coberta de la ETSAV. Sembla interessant mantenir aquesta plataforma per a futures investigacions, ja sigui en cobertes o en façanes (es poden girar de forma que la cara on posar la mostra estigui vertical). Durant l'estudi, es varen plantejar opcions que finalment no es van implementar, però val la pena tenir-les present per a futures línies d'investigació

### **OPCIONAL 1:**

Es va contemplar la possibilitat d'incorporar una font de calor a l'interior (per exemple un bombeta de 40/60 W). D'aquesta manera tindríem una dada més de com es propaga el calor a través de la pell de les cel·les.

### **OPCIONAL 2:**

També es podria disposar d'equips de climatització tipus bomba de calor, dotada cada una d'elles d'un comptador elèctric, encaminades a mantenir una temperatura constant a l'interior de les cel·les. Determinant la despesa energètica diferencial de cada una de les cel·les es podria avaluar quin consum es pot correlacionar amb l'ús dels materials de revestiment coberta.

Totes dues opcions es van descartar per impossibilitats tècniques i econòmiques.

Per investigacions amb materials reflectants, per tal de determinar les seves propietats òptiques es van realitzar uns primers contactes, que finalment foren descartats per la naturalesa de l'estudi que finalment es va desenvolupar.

## **AL LABORATORI**

Inicialment es pretenia que els materials de revestiment analitzats i testats a la coberta de les cel·les també fossin avaluats prèviament en laboratori, a fi i efecte de determinar exactament el seu grau de reflexió i emissivitat.

Per a determinar aquestes propietats caldria un espectroradiòmetre (a la UPC al grup GOAPI -Grup d'Òptica Aplicada i Processament d'Imatge- en tenen un) o un emissòmetre

Finalment es descartà aquestes feines en laboratori.

S'ha establert contacte amb el Sr. Héctor Cenen Abril (tel. 937 398 929) de la Facultat d'Òptica de Terrassa (UPC) per tal de tenir accés a aquest equip. La persona encarregada del grup de recerca és la professora Maria Sagrario Millan.

Aquest espectraloradiòmetre abasta fins a una longitud d'ona de 1600 nanòmetres, per tant comprèn tot el rang de l'espectre visual i l'infraroig proper, però no l'infraroig llunyà. L'infraroig llunyà també interessa en aquesta recerca, ja que és en aquesta freqüència on emeten calor els cosos propers que ens envolten. Per tant estaria bé poder avaluar també fins a 10.000 nanòmetres.

En la imatge superior es veu com la proporció de l'infraroig que pot mesurar l'aparell que tenen a la Facultat d'Òptica ens aportaria molt poca informació sobre l'energia emesa pels materials.



Font imatge: [https://es.wikipedia.org/wiki/Espectro\\_visible](https://es.wikipedia.org/wiki/Espectro_visible)

Unitats:

Mil·límetre: 1 mm = 1 000 000 nm (nm=nanòmetre)

Micròmetre: 1 µm = 1000 nm

Metro: 1 m = 1.000.000.000 nm

kilòmetre: 1 km = 1.000.000.000.000 nm

## MATERIALS

Per últim, hi ha hagut un contacte amb l'empresa RECUPERADORA DEL VIDRIO DE BARCELONA S.A, <http://www.revibasa.com/> per utilitzar el vidre triturat procedent del reciclatge com a material de proves en una coberta. Aquest material, amb un molt bon índex de reflexió i emissivitat (veure taula 2.02), té tres inconvenients:

- es bastant car,
- pot perforar la membrana impermeable i,
- un cop triturat, ja té sortida en el mercat com a material reciclat.

De totes maneres es contemplà la possibilitat de fixar “triturat de vidre” sobre una peça ceràmica estàndard i generar un nou acabat de coberta, el qual estaria compost per una base ceràmica sobre la que hi ha adherit un estrat de reciclat de vidre. Les primeres consultes amb professionals experts en la ceràmica i el vidre, aconsellaren, que la fixació fos en fred (amb imprimacions sobre la ceràmica) i amb triturats de vidre el més fi possible.

Finalment es va desestimar fer aquesta compost ceràmica-vidre per l'elevat cost del vidre triturat i la falta de mitjans tècnics el que no ens garantia d'aconseguir un bon resultat.



**Imatge an0.01.** Vidre triturat a la Recuperadora del Vidrio.  
**Font:** OMR

Malgrat tot, el triturat de vidre, com a material de reciclatge, sembla una bona opció per a posar en coberta. Ara bé caldria que no hagués tingut un llarg procés de tractament (no pot estar molt triturat, si no deixa de ser compatible econòmicament ja que el procés de transformació requereix molta energia). A més a més, aquesta seria una opció fàcilment replicable.

Durant el desenvolupament de la tesi es va tenir notícia de la existència, a Hamburg d'un edifici, que ja utilitzava aquest material com a acabat de coberta. Es desconeix si hi havia la voluntat de millorar la reflexió o simplement era per una voluntat estètica.



**Imatge an0.02.** Edifici Hamburg.

**Font:** Isa Vega

Veient doncs el potencial que pot tenir el vidre com a revestit de coberta, es va encoratjar a diferents estudiants de màster Per últim, Cristian Luciano, en el marc del Màster en Tecnologia a l'Arquitectura de la UPC -línia de construcció- ha desenvolupat aquesta possibilitat en el seu treball de final de màster, amb el títol “INFLUENCIAS DE VIDRIOS RECICLADOS AMORFOS EN CUBIERTAS PLANAS” sota la co-direcció del doctorand. El treball final de màster es pot trobar íntegrament a l'annex 7.

Per últim, hi ha la voluntat de provar solucions de coberta fresca en un edifici real i en us diari.

Inicialment es pretenia sol·licitar la participació d'entitats col·laboradores amb seu a l'entorn del Vallès o bé a Barcelona. A aquest efecte es pensava amb entitats com l'Institut Català de Finances, l'Ajuntament de Sant Cugat del Vallès o al Consorci de l'Educació de Barcelona, per tal de poder fer les proves en algun edifici de la seva propietat.

El projecte es planteja a aquestes institucions, per a millorar les cobertes existents amb l'avantatge que les operacions en les cobertes que caldria realitzar causarien molt poca o cap interferència en l'ús dels edificis existents, doncs es tracta de rehabilitar la coberta amb l'addició d'un material tipus cool roof.

Gràcies a la possibilitat de la simulació energètica, prèvia a la rehabilitació de la coberta, es podria fer una previsió d'estalvi energètic i de millora del confort en les estances inferiors.





## ANNEX 1: JUSTIFICACIÓ DELS CÀLCULS

A continuació hi ha la justificació dels càlculs efectuats per a calcular la massa tèrmica i les transmissibilitats de les cel·les test.

Per a calcular la transmissibilitat s'ha utilitzat el full de càlcul HIRGROTERM<sup>1</sup>. Les característiques físiques del GUTEX han estat extretes de la fitxa tècnica del material<sup>2</sup>.

MASSA TÈRMICA - CAPACITAT TÈRMICA CEL·LA				
Material	Densitat	Calor esp.	Volum	total Kcal/°C
aigua	1.00	1.00	30.00	30.00
aire	1.20	0.24	6.00	1.73
gutex	100.00	0.50	1.53	76.50
				108.23

TRANSMISSIBILITAT TOTAL CEL·LA AMB ACABAT CERÀMIC								
		h	b	ut	total			
plans verticals		1.95	1.75	4.00	13.65	0.19	2.59	
plans horitzontals	terra	1.75	1.75	1	3.06	0.19	0.58	
	coberta	1.75	1.75	1	3.06	2.39	7.32	
							10.49	0.531
							0.86	
							9.025485	Kcal/ h°C

1 <https://www.google.es/webhp?sourceid=chrome-instant&ion=1&espv=2&ie=UTF-8#q=HIRGROTERMI-C+EXCEL>

2 <http://www.biohaus.es/pdf/GUTEXThermosafehomogen.pdf>

# ANÀLISIS TÈCNIC I FÍSIC DEL COMPORTAMENT DE LES COBERTES "FRESQUES" (COOL ROOFS) : EL CAS DE CATALUNYA.

## Càlcul higrotèrmic de tancaments

Dades generals del tancament				Dades ambientals		Cambra d'aire			
Nom	tancaments verticals	Orientació(N.S....):		Data	17/02/2012 00:00	Temp. exterior:	5	HR:	95 %
Tipus de tancament	<input checked="" type="radio"/> Paret <input type="radio"/> Terra <input type="radio"/> Sostre		Separació entre interior i ... <input checked="" type="radio"/> Exterior <input type="radio"/> Semi exterior		Autor	Temp. interior:	22 °C	HR:	75 %
						Superfície forats	0	cm <sup>2</sup>	
						Longitud/Àrea:	1	m/m <sup>2</sup>	
						Cambra d'aire: Dèbilment ventilada			

Capa	Material	Gruix	$\lambda / R$	rd
Int	Aire Interior		0,11 °C·m <sup>2</sup>	0 mmHg·dia·m <sup>2</sup> /g·cm
1	GUTEX	20,0 cm	0,04 W/°C	0,07 mmHg·dia·m <sup>2</sup> /g·cm
2	OSB	1,8 cm	0,13 W/°C	0,048 mmHg·dia·m <sup>2</sup> /g·cm
3	Material	0,0 cm	0,00 W/°C	0 mmHg·dia·m <sup>2</sup> /g·cm
4	Material	0,0 cm	0,00 W/°C	0 mmHg·dia·m <sup>2</sup> /g·cm
5	Material	0,0 cm	0,00 W/°C	0 mmHg·dia·m <sup>2</sup> /g·cm
6	Material	0,0 cm	0,00 W/°C	0 mmHg·dia·m <sup>2</sup> /g·cm
7	Material	0,0 cm	0,00 W/°C	0 mmHg·dia·m <sup>2</sup> /g·cm
8	Material	0,0 cm	0,00 W/°C	0 mmHg·dia·m <sup>2</sup> /g·cm
9	Material	0,0 cm	0,00 W/°C	0 mmHg·dia·m <sup>2</sup> /g·cm
10	Material	0,0 cm	0,00 W/°C	0 mmHg·dia·m <sup>2</sup> /g·cm
Ext	Aire Exterior		0,05 °C·m <sup>2</sup>	0 mmHg·dia·m <sup>2</sup> /g·cm

Resultats	
K TOTAL:	0,19 W/°C·m <sup>2</sup>
I co-cv:	3,21 W/m <sup>2</sup>
I d:	5,88 g/dia·m <sup>2</sup>

## Càlcul higrotèrmic de tancaments

Dades generals del tancament				Dades ambientals		Cambra d'aire			
Nom	cobeta	Orientació(N.S....):		Data	17/02/2012 00:00	Temp. exterior:	5	HR:	95 %
Tipus de tancament	<input type="radio"/> Paret <input type="radio"/> Terra <input checked="" type="radio"/> Sostre		Separació entre interior i ... <input checked="" type="radio"/> Exterior <input type="radio"/> Semi exterior		Autor	Temp. interior:	22 °C	HR:	75 %
						Superfície forats	0	cm <sup>2</sup>	
						Longitud/Àrea:	1	m/m <sup>2</sup>	
						Cambra d'aire: Dèbilment ventilada			

Capa	Material	Gruix	$\lambda / R$	rd
Int	Aire Interior		0,17 °C·m <sup>2</sup>	0 mmHg·dia·m <sup>2</sup> /g·cm
1	Contraxapat de fusta	1,8 cm	0,14 W/°C	3,25 mmHg·dia·m <sup>2</sup> /g·cm
2	EPDM	0,1 cm	0,03 W/°C	mmHg·dia·m <sup>2</sup> /g·cm
3	Maó massís	1,0 cm	0,87 W/°C	0,048 mmHg·dia·m <sup>2</sup> /g·cm
4	Material	0,0 cm	0,00 W/°C	0 mmHg·dia·m <sup>2</sup> /g·cm
5	Material	0,0 cm	0,00 W/°C	0 mmHg·dia·m <sup>2</sup> /g·cm
6	Material	0,0 cm	0,00 W/°C	0 mmHg·dia·m <sup>2</sup> /g·cm
7	Material	0,0 cm	0,00 W/°C	0 mmHg·dia·m <sup>2</sup> /g·cm
8	Material	0,0 cm	0,00 W/°C	0 mmHg·dia·m <sup>2</sup> /g·cm
9	Material	0,0 cm	0,00 W/°C	0 mmHg·dia·m <sup>2</sup> /g·cm
10	Material	0,0 cm	0,00 W/°C	0 mmHg·dia·m <sup>2</sup> /g·cm
Ext	Aire Exterior		0,06 °C·m <sup>2</sup>	0 mmHg·dia·m <sup>2</sup> /g·cm

Resultats	
K TOTAL:	2,39 W/°C·m <sup>2</sup>
I co-cv:	40,66 W/m <sup>2</sup>
I d:	#!VALOR! g/dia·m <sup>2</sup>

## Càlcul higrotèrmic de tancaments

Dades generals del tancament				Dades ambientals		Cambra d'aire			
Nom	terra	Orientació(N.S....):		Data	17/02/2012 00:00	Temp. exterior:	5	HR:	95 %
Tipus de tancament	<input type="radio"/> Paret <input checked="" type="radio"/> Terra <input type="radio"/> Sostre		Separació entre interior i ... <input checked="" type="radio"/> Exterior <input type="radio"/> Semi exterior		Autor	Temp. interior:	22 °C	HR:	75 %
						Superfície forats	0	cm <sup>2</sup>	
						Longitud/Àrea:	1	m/m <sup>2</sup>	
						Cambra d'aire: Dèbilment ventilada			

Capa	Material	Gruix	$\lambda / R$	rd
Int	Aire Interior		0,09 °C·m <sup>2</sup>	0 mmHg·dia·m <sup>2</sup> /g·cm
1	GUTEX	20,0 cm	0,04 W/°C	0,07 mmHg·dia·m <sup>2</sup> /g·cm
2	OSB	1,8 cm	0,13 W/°C	0,048 mmHg·dia·m <sup>2</sup> /g·cm
3	Material	0,0 cm	0,00 W/°C	0 mmHg·dia·m <sup>2</sup> /g·cm
4	Material	0,0 cm	0,00 W/°C	0 mmHg·dia·m <sup>2</sup> /g·cm
5	Material	0,0 cm	0,00 W/°C	0 mmHg·dia·m <sup>2</sup> /g·cm
6	Material	0,0 cm	0,00 W/°C	0 mmHg·dia·m <sup>2</sup> /g·cm
7	Material	0,0 cm	0,00 W/°C	0 mmHg·dia·m <sup>2</sup> /g·cm
8	Material	0,0 cm	0,00 W/°C	0 mmHg·dia·m <sup>2</sup> /g·cm
9	Material	0,0 cm	0,00 W/°C	0 mmHg·dia·m <sup>2</sup> /g·cm
10	Material	0,0 cm	0,00 W/°C	0 mmHg·dia·m <sup>2</sup> /g·cm
Ext	Aire Exterior		0,06 °C·m <sup>2</sup>	0 mmHg·dia·m <sup>2</sup> /g·cm

Resultats	
K TOTAL:	0,19 W/°C·m <sup>2</sup>
I co-cv:	3,21 W/m <sup>2</sup>
I d:	5,88 g/dia·m <sup>2</sup>

## Ficha técnica para GUTEX Thermosafe-homogen

**GUTEX Thermosafe** es el sistema aislante de tableros universal con un perfil de densidad aparente homogéneo y de una capa y con unas propiedades extraordinarias para la protección contra el calor estival y del frío invernal.

Datos técnicos:	Thermosafe-homogen	
Tipo de canto	liso	juntas escalonadas
Largo x ancho (mm)	1200 x 625	1200 x 625
Superficie que cubre largo x ancho (mm)		1185 x 610 (0,712m <sup>2</sup> )
Espesor (mm)	20/40/60/80/100/120	140/160/180/200
m <sup>2</sup> por tablero (m <sup>2</sup> )	0,75	0,75
Peso por tablero (kg)	1,7/3,3/5,0/6,6/8,3/9,9	11,6/13,2/14,9/16,5
Peso por m <sup>2</sup> (kg)	2,2/4,4/6,6/8,8/11/13,2	15,4/17,6/19,8/22
Tableros por palé (piezas)	220/108/72/54/44/36	32/28/24/22
m <sup>2</sup> por palé (m <sup>2</sup> )	165/81/54/40,5/33/27	24/21/18/ 16,5
Densidad aparente (kg/m <sup>3</sup> )	< 110	< 110
Peso por palé (kg)	390	390
Valor nominal de conductividad térmica $\lambda_D$ (W/mK)	0,037	0,037
Valor de cálculo de conductividad térmica $\lambda$ (W/mK)*	0,04	0,04
Valor nominal de resistencia térmica $R_D$ (m <sup>2</sup> K/W)	0,55/1,1/1,65/2,2/2,75/3,25	3,8/4,35/4,9/5,45
Difusión del vapor ( $\mu$ )	3	3
Valor $s_d$ (m)	0,06/0,12/0,18/0,24/0,30/0,36	0,42/0,48/0,54/0,60
Resistencia a la compresión (kPa)	≥ 20	≥ 20
Resistencia a la corriente de ondas (kPa-s/m <sup>3</sup> )	≥ 100	≥ 100
Resistencia a la tracción perpendicular al plano del tablero (kPa)	≥ 10	≥ 10
Capacidad calorífica específica (J/kgK)	2100	2100
Comportamiento en caso de incendio: clase europea EN 13501-1	E	
Categoría DIN 4102	B2	



## **ANNEX 2: SUPORTS ECONÒMICS O TÈCNICS AL PROJECTE.**

Aquest estudi no hagués estat possible sens uns recursos econòmics. Aquest suport econòmic ha sorgit de diferents entitats o premis rebuts:

1. L'entitat financera Caixa Terrassa, actual UNNIM, ha subvencionat l'inici d'aquest projecte de recerca amb 8.000€+8.000€ dins de la seva convocatòria d'ajuts a Projectes de Millora Ambiental 2010.

Aquest suport financer ha servit per sufragar les:

- Impermeabilitzacions de les cel·les (6 unitats)
  - "Tapes" de les cel·les test (6 unitats)
  - Els equips de medició (1 data logger i tres sondes per a cada cel·les. Total 6 cel·les). Descrits al punt 4.2.1 INSTRUMENTACIÓ DE MESURA.
  - Software per a la gestió de dades de Testo
  - Contracte laboral d'en Jordi Jané (Enginyer de Telecomunicacions) i POMA Arq, per a la recopilació, gestió i edició de gràfics amb les dades amb periodicitat mensual. Actualment Poma Arq. finança la despesa d'aquest contracte.
  - El muntatge de les cel·les ha estat a càrrec dels estudiants de l'ETSAV matriculats a l'assignatura 1:1, remunerats mitjançant convenis de col·laboració entre POMA Arq – UPC, dirigits per tècnics de PAUS (Plataforma per a l'Arquitectura i la Sostenibilitat).
2. POMA Arquitectura S.L. ha rebut una ajuda econòmica per a que l'investigador, Oriol Muntané, que realitza la seva Tesi Doctoral gaudeix d'una beca de tres anys (Convocatòria Talent Empresa (TEM DGR 2010), d'AGAUR del Govern de la Generalitat de Catalunya).
  3. Conveni de col·laboració entre REVETON- del grup internacional MATERIS PAINTS- i POMA Arquitectura S. L. L'acord consisteix en la cessió de dades amb comparatives amb els altres materials respecte el seu (cel·la 1) i el de referència (cel·la 0). S'ha valorat amb un import de 800€ anuals i una durada de 2 anys.
  4. l'Institut de Sostenibilitat (IS.UPC): El projecte va rebre el segon premi del 15è Concurs d'Idees Ambientals i Sostenibles de la UPC, dotat amb 750€.

Suport tècnic: Empreses o institucions que han incorporant els seus materials i/o coneixements tècnics per a desenvolupar el projecte de recerca.

1. CERAMICAS CALAF: <http://www.ceramicascalaf.com/>

Aportació:

- Subministre de 10m<sup>2</sup> de rajola borda
  - Subministre de 6 m<sup>2</sup> de rajola borda amb revestiment d'esmalt amb un pigment Sico pal Black K 0095
2. PAUS: <http://www.upc.edu/sct/es/servei/52/plataforma-arquitectura-sostenibilidad-paus.html>

Aportació: 6 cel·les per a testar materials

3. Ill BASF: <https://www.basf.com/es/es.html>

Aportació:

- Assessorament tècnic per a dur a terme les proves d'aquests pigments sobre materials ceràmics per a revestiment de cobertes
  - Proves per a incorporar en massa a la rajola pigments tipus F2730 marró i tipus F2355 vermell.
4. IINTEMPER :
- Subministre i col·locació de membranes impermeables sobre 2 de les cel·les
  - Subministre i col·locació de 4m<sup>2</sup> de lloses FILTRON (cel·la 2)
  - Subministre i col·locació de 4 m<sup>2</sup> de lloses FILTRON blanques (cel·la 3)



5. REVETON: <http://reveton.com/>

Aportació:

- Subministra de 8 kg de pintura tipus REVETON TEC-PLUS per a cel·les PAUS
- Pintat de coberta de Mòdul Algeco

6. CERAMICAS CUMELLA: <http://www.cumella.cat/home.htm>

Aportació:

- Subministre de 4,5 m2 de rajola esmaltada blanca llisa
- Subministre de 4,5m2 de rajola esmaltada blanca amb geometria superficial
- Assessorament sobre com incorporar un gruix de vidre triturat sobre base ceràmica.

7. SIKA: <https://esp.sika.com/>

Aportació:

- Acord per a l'aportació de materials per a fer la prova pilot en edifici real.
- Subministre de dades en edificis reals (Madrid i València) així com estudis de millora del rendiment de plaques fotovoltaiques col·locades sobre cobertes fresques.

8. ALGECO: <http://www.algeco.es/>

Aportació: subvenciona tota la despesa elèctrica i de col·locació i lloguer de mòduls.

9. FLEXBRICK <http://www.flexbrick.net/en/>

Aportació: 15 m<sup>2</sup> de malla ceràmica per a cobrir un mòdul Algeco





## **ANNEX 3: DIFUSIÓ DEL PROJECTE, CONGRESSOS I RECONeixEMENTS**

### **DIFUSIÓ DE PROJECTE**

Durant el temps que aquest projecte està en marxa s'han realitzat accions destinades a:

- formació recerca i avenç en l'estat de l'art
- difusió dels primers resultats del projecte

En el primer apartat s'ha assistit al congrés PALENC 2010 "Passive & Low Energy Cooling for the Built Environment", 5th European Conference on Energy Performance & Indoor Climate in Buildings & 1st Cool Roof Conference" que es va realitzar a Rhodes (Grècia) del 29 de setembre al 1 d'octubre de 2010.

En aquest congrés, tal i com diu el títol, part del programa es focalitzava en les "cobertes fredes".

Durant el decurs de la trobada es va entaular relació amb Sra. Afrodity Sinefa professora de Física de la Universitat d'Atenes i membre del ECRC. (European Cool Roofing Council)

Aquesta organització està seguint un procés legal per a ser reconeguda com a oficial. La primera reunió s'ha realitzat el passat 16 de gener a Brussel·les, on culminà el procés d'oficialització. En aquesta reunió es varen tractar les guies i objectius principals per als propers mesos. S'ha previst una segona reunió a finals de juny de 2012.

Cal destacar l'assistència a la primera reunió del ECRC<sup>1</sup> (European Cool Roofing Council) A la reunió hi assistiren persones d'empreses i universitats interessats en desenvolupar normatives i estandardització de processos i protocols per qualificar i caracteritzar aquest tipus de cobertes.

Durant la reunió es van crear grups de treball que desenvoluparan tasques concretes.

---

<sup>1</sup> ECRC: European Cool Roofing Council. Seguiment dels articles i estudis que s'estan elaborant per a divulgar i legislar les cobertes fredes a Europa. <http://coolroofcouncil.eu/faq.php#5>

*ANÀLISIS TÈCNIQUES I FÍSQUES DEL COMPORTAMENT  
DE LES COBERTES “FRESQUES” (COOL ROOFS) : EL CAS DE CATALUNYA.*



**Imatge an02.01.** Assistents a la reunió del ECRC i logotip de l'associació  
**Font:** OMR, ECRC

Per a la difusió de resultats, s'han seguit dos camins: el primer lligat a l'empresa REVETON i el segon a base de presentar els resultats a congressos.

En el primer, es reforçava els arguments per a la comercialització de la gamma de pintures “fredes” per a cobertes del casa REVETON. Aquestes ponències mostraven els primers resultats obtinguts i les conseqüències beneficioses que d'elles se'n podien derivar. Les ponències que s'han realitzat fins al moment són:

- Fira Construmat 2010, el 20 de maig de 2011
- Presentació a la seu del Col·legi Oficial d'Arquitectes de Catalunya (COAC), 15 de juny de 2011
- Presentació a la seu del Col·legi Oficial d'Arquitectes de Madrid (COAM): 21 de juny de 2011 (imatge an02.02.)

## Aislamiento Termorefectante de Cubiertas

*Un método simple, económico y eficaz de contener el gasto en climatización en su edificio.*

El seminario tendrá lugar el próximo **21 de junio** a las **18:30h** en el  
**Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid COAM**

C/Piamonte,23 - 28004 Madrid

Tras el seminario se ofrecerá un aperitivo

**PONENTES:** **Jaume Pellisé** (Brand Manager Revetón Pinturas)

**Oriol Muntané** (Arquitecto y Profesor de la ETSAV - Universitat Politècnica de Catalunya)

### INSCRIPCIONES:

info@reveton.com Telf: 938 631 840



**Imatge an02.02.** Targeta publicitària i foto de la ponència. Madrid 21 de juny de 2011. Seu del COAM.  
**Font:** OMR

## CONGRESSOS

L'altre canal de difusió ha estat la presentació del projecte a diversos congressos als congressos. A continuació es (imatges an02.03 i an02.04) hi ha els pòsters que es van presentar als congressos de San Sebastia i Bressanone (Itàlia) respectivament.



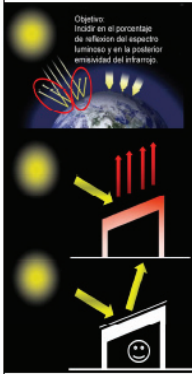
## ARQUITECTURA SOSTENIBLE Y EFICIENCIA ENERGÉTICA

ORIO L MUNTANÉ - JOAN-LLUÍS ZAMORA - ANTONI ISALGUÉ. ETSAV- UPCatalunya  
oriolmuntane@poma.cat

### "re-ROOFING the CITIES":

### PREVENIR EL CAMBIO CLIMÁTICO re-CONSTRUYENDO

Este trabajo estudia la implicación de aumentar la reflexión en lo acabados de cubiertas.



El estudio analiza:

A) Cómo afectan diferentes **soluciones constructivas**, con diferentes materiales de acabado de cubierta, al comportamiento térmico del edificio.

B) Influencias, especialmente en las **islas de calor** alrededor de las concentraciones de población (grandes urbes), la utilización de materiales con alto grado de reflexión.

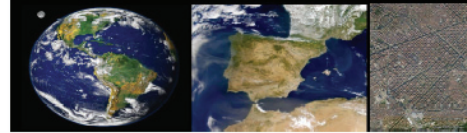
Las probadas ventajas de mejorar la reflexión a la radiación solar de materiales de cubiertas (cool roofs, aislamiento termoreflejante):

- mejora del ambiente interior
- reducción del efecto isla de calor.

La necesaria rehabilitación del parque edificado existente, preferencial en las cubiertas como sistema constructivo con una renovación más corto.

Evaluación de los beneficios de modificar los actuales acabados de cubiertas en el centro urbano de Barcelona.

SOLUCIONES ARQUITECTÓNICAS LOCALES A PROBLEMÁTICAS GL



ESTRATEGIA GEOGRÁFICAMENTE ADAPTADA. MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LOS EDIFICIOS Y REDUCCIÓN DE LAS EMISIONES

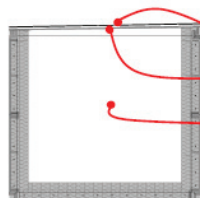
#### DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.

La metodología consiste en comparar en régimen libre diferentes materiales para los acabados de cubierta. El material de referencia será el baldosín cerámico de 29x14x1,5cm.

Situación del proyecto: St. Cugat. Barcelona



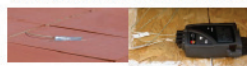
Sensores en cada celda



SENSOR 1: TEMPERATURA SUPERFICIAL EXT.  
→ INFORMACIÓN SOBRE LA REFLECTIVIDAD DEL MATERIAL.

SENSOR 2: TEMPERATURA SUPERFICIAL INF.  
→ INFORMACIÓN SOBRE LA EMISIVIDAD DEL MATERIAL.

SENSOR 3: TEMPERATURA INTERIOR CELDA.  
→ MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA CUBIERTA



#### RESULTADOS ESPERADOS

Los resultados obtenidos del presente estudio pueden incluir los siguientes aspectos:

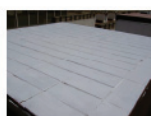
- Caracterizar los materiales de acabado de cubierta en función de su reflexión y emisividad (calibrar el modelo numérico).
- Afectación a la durabilidad / mantenimiento / efectividad del material.
- Mejorar las propiedades de reflexión de los materiales existentes.
- Evaluar cómo afectaría el efecto isla de calor en un centro mediterráneo si todas las azoteas fueran rehabilitadas con materiales de características similares a los utilizados en el proyecto.



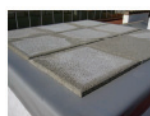
Materiales:



CELDA 0: REFERENCIA. CERÁMICA



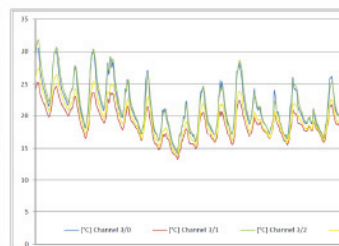
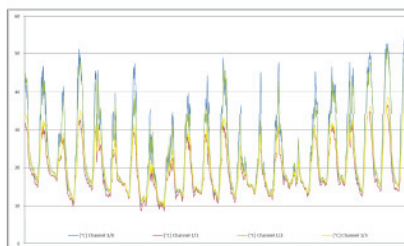
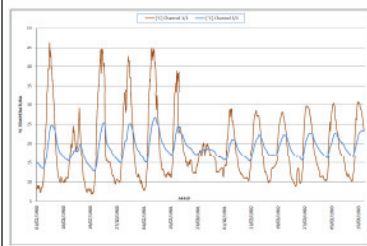
CELDA 1: CERÁMICA + REVSUN TECPLUS



CELDA 2: LOSA FILTRÓN



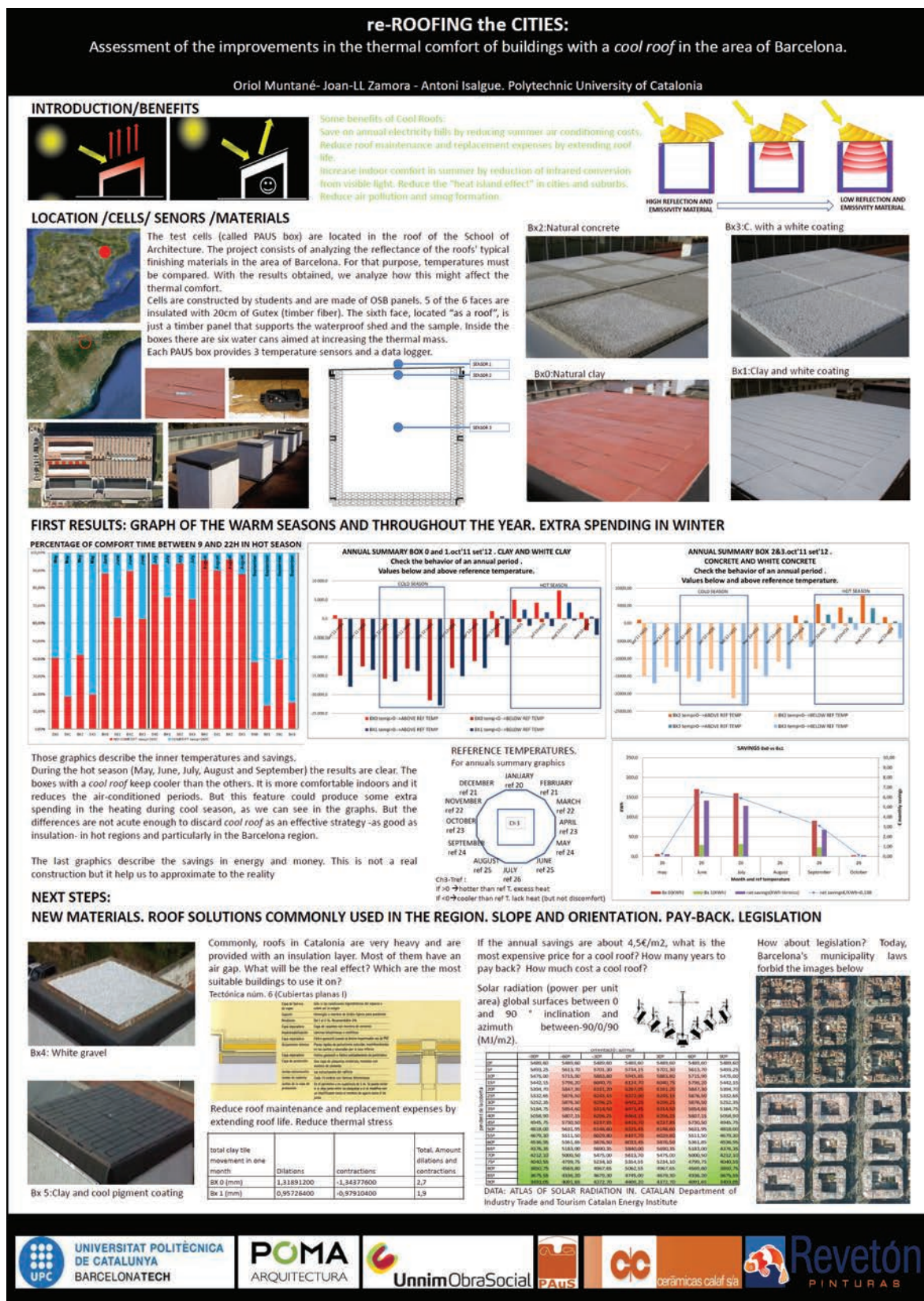
CELDA 3: LOSA FILTRÓN BLANCA



Imatge an02.03: EESAP 2011: II EUROPEAN CONFERENCE ON ENERGY EFFICIENCY AND SUSTAINABILITY IN ARCHITECTURE AND PLANNING. San Sebastián els dies 27 a 29 de Juny de 2011.

Font: OMR





**Imatge an02.04.** ENERGY FORUM on Solar Building Skins (Superficies Solares para Edificios), dies 6-7 Desembre de 2012, a Bressanone, Italia.

Font: OMR

Per últim, el projecte havia estat acceptat al congrés YRSB13 i iSBE Forum of Young Researchers in Sustainable Building de Praga, el qual es va dur a terme durant el juny del 2013. Degut a falta de finançament no ha estat possible assistir al congrés

## **RECONeixEMENTS I PREMIS**

- Gener 2010: Premis SACYR el projecte “Re-ROOING THE CITIES: PREVENIR EL CAMBIO CLIMATICO RE-CONSTRUYENDO” fou finalista en la categoria d’Innovació Medioambiental.
- Maig 2010: PREMIAT A LA CONVOCATÒRIA DE CAIXA TERRASSA I MANLLEU: AJUTS A PROJECTE DE MILLORA AMBIENTAL “En aquesta nova edició us convidem a ecoinnovar, mitjançant el finançament de projectes que aportin un benefici ambiental ampli, apostant de manera decidida per projectes ecoinnovadors que incorporin un fort vessant tecnològic. Els ajuts estan adreçats a projectes de transformació que indueixin canvis i millores ambientals en la nostra manera de produir i de consumir productes i serveis



**UnnimObraSocial**

- Maig 2012: Segon premi del 15è Concurs d'Idees Ambientals i Sostenibles de la UPC, l'Institut de Sostenibilitat (IS.UPC).



**REFORCEM**  
**EL COMPROMÍS AMB**  
**LA SOSTENIBILITAT**  
**15è CONCURS**  
**IDEES AMBIENTALS**  
**4.500 € entre la convocatòria oberta i la universitària**  
**Termini d'admissió 15 de maig de 2012**

[www.upc.edu/sostenible2015](http://www.upc.edu/sostenible2015) [www.univers.upc.edu/concursos](http://www.univers.upc.edu/concursos)

**Col·labora:**

**Patrocinat:**

**Organitza:**



## ANNEX 4: BIBLIOGRAFIA

S'adjunten les referències bibliogràfiques consultades:

### ARTICLES - Efecte hivernacle o illa de calor

- GOLDREICH, Yair. Ground and top of canopy layer urban heat island partitioning on an airborne image.
- KAARSBERG, Tina; HASHEM, Akbari. Cool Roofs Cool The Planet.
- LA ROCHE, P. Cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero en edificios: análisis del funcionamiento de varias herramientas en diferentes climas.
- ROSENTHAL, Elisabeth; W. LEHREN, Andrew. Refredar les cases, escalfar el planeta.
- Sobre una estrategia para dirigir al sector de la edificación hacia la eficiencia en la emisión de gases de efecto invernadero. GEI. Ministeri de Vivenda d'Espanya.
- Worldwide Trends in Energy Use and Efficiency. International Energy Agency
- El impacto de las islas de calor urbanas y el comportamiento energético de los edificios en Madrid. PTEC, Plataforma Tecnológica de Construcción
- D. Kolokostsa, M. Santamouris, S.C. Zerefos. Green and coolroofs urban heat island mitigation potential in European climates for office buildings under free floating conditions
- HASHEM AKBARI, HEAT ISLAND GROUP, LAWRENCE BERKELEY NATIONAL LABORATORY. Energy Saving Potentials and Air Quality Benefits of Urban Heat Island Mitigation<sup>1</sup>
- A. Synnefa, A. Dandou, M. Santamouris and M. Tombrou. Cool colored coatings for passive cooling of cities
- A. Synnefa, M. Santamouris, I. Livada A study of the thermal performance of reflective Coatings for the urban environment



ARTICLES - Clima, qualitat de aire, confort

- AVELLANEDA, Jaume. Medio ambiente, comportamiento y durabilidad del cerramiento.
- SANTAMOURIS, Mat. Cooling heats up: Specific problems of Southern Europe
- TORRES, J; SERRA, J; LLOPIS, J; HIGÓN, L; GARCÍA, A; SÁIZ, B. Análisis del color y el soleamiento en las Torres de Quart de Valencia (España)
- ANNA LAURA PISELLO, MATTHEOS SANTAMOURIS AND FRANCO COTANA. Active cool roof effect: impact of cool roofs on cooling system efficiency
- MARTA SANTIAGO JIMÉNEZ tutoritzat pel DR. DAVID SAURÍ. La repercussió de la onada de calor de 2003 en la població major de 65 anys de Barcelona i l'àrea metropolitana.
- ANNA LAURA PISELLO, FRANCO COTANA. The thermal effect of an innovative cool roof on residential buildings in Italy: Results from two years of continuous monitoring
- Rui Yan and Jamie Adams COOL ROOFING – AN EXAMINATION OF THE OPTIONS TO REDUCE CAPITAL AND/OR OPERATING COSTS OF RETAIL BUILDINGS IN AUSTRALIA
- Vincenzo Costanzo, Gianpiero Evola & Luigi Marletta. Cool roofs for passive cooling: performance in different climates and for different insulation levels in Italy
- H. AKBARI, M. POMERANTZ and H. TAHA. Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas
- Craig Wray, Hashem Akbari. The effects of roof reflectance on air temperatures surrounding a rooftop condensing unit



ARTICLES - Cobertes Fresques – Anàlisi, Avaluació

- ARENT P.E, John. Residential cool roof/ Roof insulation measures
- CHU, Steven. Memorandum for heads of departmental elements. Installation of cool roofs on department of energy buildings HOFFMAN, Marc. ENERGY STAR Roof Products Specification
- KOLOKOTRONI, M; GIANNITSARIS, I; WATKINS, R. The effect of the London urban heat island on building summer cooling demand and night ventilation strategies L.HOFF, James. Cool roofs: Standards & options
- L.HOFF, James. The economics of cool roofing: A local and regional approach
- L.HOFF, James. Hybrid Vegetated / Ballasted Roofs: A “Cool” Way to Accelerate Green Roofing Demand? New Ballasted Roofing Research Offers Intriguing Possibilities
- LEVINSON, Ronnen. Cool Roof Q&A
- P.H. BAKER, H.A.L. VAN DIJK. PASLINK and dynamic outdoor testing of thermal and solar properties of building components
- SANTAMOURIS, Mat. The cool roofs project
- SYNNEFA, SANTAMOURIS, Mat; AKBARI, H. Cool roof policies, programs and initiatives in the European Union
- 2008 Residential Compliance Manual. Building Envelope Requirements
- A practical guide to cool roofs and cool pavements . GCCA + R20.
- Descripción técnica de la célula de ensayos Paslink LCCE. Departamento de vivienda y Asuntos Sociales. EUSKO JAURLARITZA.
- Guide to cool roofs . Fraunhofer Center for Sustainable Energy Systems
- Guidelines for selecting cool roofs. Fraunhofer Center for Sustainable Energy Systems
- Impact of a Cool Roof Application on the Energy and Comfort Performance in an Existing non-Residential Building. A Sicilian Case Study

- South Australia's Cool Roofs Regulation. A Discussion Paper. Government of South Australia
- PHILIP W. B. NILES. Thermal evaluation of a House using a movable-insulation heating and cooling system
- MARCO D'ORAZIO. Professor Department of Architecture Construction and Structures Marche Polytechnic University Italy. The thermal mass on roof slabs as a thermo-regulation strategy for indoor thermal comfort and low energy consumption.
- A. SYNNEFA, M. SANTAMOURIS , H. AKBARI. Estimating the effect of using cool coatings on energy loads and thermal comfort in residential buildings in various climatic conditions
- SERGIO BOIXO MARIAN DIAZ-VICENTE, ANTONIO COLMENAR , MANUEL ALONSO CASTRO. Potential energy savings from cool roofs in Spain and Andalusia
- AGUILAR, J.L.C., SMITH, G.B., GENTLE, A.R. & CHEN, D. 2012, 'MAKING cool roofs compatible with low heating and cooling loads.
- E. Carnielo<sup>1</sup>, A. Fanchiotti, M. Zinzi Energy and comfort benefits of a cool roof application in a non-residential building belonging to Roma Tre University
- A. Synnefa, M. Santamouris Advances on technical, policy and market aspects of cool roof technology in Europe: The Cool Roofs project
- M. Kolokotronia, B.L. Gowreesunker, R. Giridharan. Cool roof technology in London: An experimental and modelling study
- E. Bozonnet, M. Doya, F. Allard Cool roofs impact on building thermal response: A French case study
- Michèle Zinzi. Cool materials and cool roofs: Potentialities in Mediterranean buildings
- M. Zinzi, S. Agnoli Cool and green roofs. An energy and comfort comparison between passive cooling and mitigation urban heat island techniques for residential buildings in the Mediterranean region

ARTICLES - Cobertes Fresques - Materials

- DE LA VARGA, Meritxell. Polímers termocròmics
- MARÍN, F. La mejora de la calidad, la seguridad y el medio ambiente en la construcción de cubiertas con elementos de colocación discontinua de hormigón mediante el desarrollo y aplicación de la normativa
- NEILA, F.J; BEDOYA, C; ACHA, C; OLIVIERI, F; BARBERO, M. Las cubiertas ecológicas de tercera generación: un nuevo material constructivo
- QUIROA HERRERA, J.A; VECCHIA, F; CASTAÑEDA, G. Comparación del comportamiento térmico de tres cubiertas: láminas de reciclado tetra pak, láminas defibroce-mento y teja de barro RIVERA, Julián; LAHOZ, Eduardo. Sistemas de impermeabili-zación de cubiertars aplicados en forma líquida.
- ZINZI, M; FASANO, G; MANILIA, E. Properties and performance of an innovative reflective painting to reduce the cooling loads in buildings and mitigate the heat island effect in urban areas
- A cool roof for LBNL's iconic dome
- Cool colors project: Improved materials for cooler roof. Lawrence Berkeley National Laboratory
- Cool roofs. Description of main Cool Roof products. Features. Intelligent Energy Eu-rope IEE
- Daikin nZEB project: HERTEN. DAIKIN Environment Research Center
- Directrices generales UEAtc para la evaluación de los revestimientos de impermeabili-zación de cubiertas. Consejo Superior de Investigaciones Científicas
- ENERGY STAR Roof Product List. Energy star
- Metal roofing for comfortable Energy-Efficient Housing. European Coil Coating As-sociation
- Pintures termocròmiques - Investigació i desenvolupament. CCI Control de Qualitat

*ANÀLISIS TÈCNIQUES I FÍSiques DEL COMPORTAMENT  
DE LES COBERTES “FRESQUES” (COOL ROOFS) : EL CAS DE CATALUNYA.*

- Prepainted Metal Roofing for Low Energy Building. European Coil Coating Association
- Rehabilitados 4.000m2 de cubierta en el barrio bilbaíno de Deusto. DP Onduline
- Solar photovoltaic systems and cool roofs. CRRC
- The Best Solar Solution for Cool White Rooftops. SOLYNDRA
- The cool roofs material database. ENEA
- ZEFFLE Infrared Reflective Coating. DAIKIN Industries, LTD
- AASWATH P. RAMAN, MARC ABOU ANOMA, LINXIAO ZHU, EDEN REPHAELI & SHANHUI FAN. Passive radiative cooling below ambient air. temperature under direct sunlight
- Antonio Libbra, Alberto Muscioa, Cristina Siligardi, Paolo Tartarini. Assessment and improvement of the performance of antisolar surfaces and Coatings
- Ronnen Levinsona, Hashem Akbari, Joseph C. Reilly Cooler tile-roofed buildings with near-infrared-reflective non-white Coatings
- Anna Laura Pisello, Franco Cotana, Andrea Nicolini and Lucia Brinchi. Development of Clay Tile Coatings for Steep-Sloped Cool Roofs
- Anna Laura Pisello, Federico Rossi and Franco Cotana Summer and Winter Effect of Innovative Cool Roof Tiles on the Dynamic Thermal Behavior of Buildings

CASES COMERCIALS: Catàlegs, Especificacions Tècniques

- 624 RCAP Bright white reflective cap sheet. MALARKY Roofing Products
- BAUER, Ruth; FREY, Thomas. BASF. Pigments for heat management
- Bioni Perform. Multifunktionale Fassadenbeschichtung auf Basis von Nanotechnologie für dauerhaften Gebäudeschutz. Bioni CS intelligent coatings

- Capa superior de superficie mineral para techo multimembrana. EnergyCap™ GAF-GLAS®
- Cool black magic. Sicopal Black K 0095 NIR-reflecting pigment. BASF
- GlasKap® CR Cool Roof Cap Sheet – The easiest way to Title 24 compliance. Johns MANVILLE
- Láminas de protección solar Solarcheck. DTI
- Los sistemas de impermeabilización denominados Cool Roof. SIKA
- LOSA FILTRÓN Propiedades. INTEMPER
- Lumogen Black.BASF
- Nueva pintura radiante Cool Paint para el techo frío. ICOPAL
- Pigments for solar heat management in paints. BASF
- Pintura Reflectante en spray para la señalización nocturna no permanente. WÜRTH
- Propiedades higrotérmicas de materiales y productos. INTEMPER
- RENOLIT WATERPROOFING. Alkorbright renolit waterproofing. TEXSA
- Revetón. REVSUN TEC PLUS. REVETÓN
- Sicopal black K0095. BASF
- Tecma paint-termic Fahrenheit 10.8. SATECMA

#### ARTICLES - Entitats i Associacions

- SYNNEFA, Afroditi. ECRC Interlaboratory comparison proposal
- AKBARI, Hashem. Energy Saving Potentials and Air Quality Benefits of Urban Heat Island Mitigation
- Bipin SHAH, Dr. GARG. Cool Roofs in India
- TAKAHASHI, Toshiya. Cool Roof Paint market grows and its standardization in Japan. JPMA
- SHICHAO, Yang; CHANGQING, Lin. Progress of Cool Roof Technology in China
- REIN REDONDO, Pablo. La cubierta útil. Una necesidad urbana

#### DOCUMENTS - Entitats i Associacions

- 2008 building energy efficiency standards for residential and nonresidential buildings. CEC
- California: COOL ROOFS 2008 Building Energy Efficiency Standards. CEC
- Combatiendo el calor en las grandes ciudades del mundo. NASA
- Cool Cohesion: Supporting Codes and Programs with a Roof Rating System. CRRC
- Cool Roof definition. ECRC
- Cool roof rating council standards. CRRC
- Cool roof regulations in California's 2005 Building Energy Efficiency Standards. California Energy Commission
- Cool Roofs California's Title 24 Part 6, Building Energy Efficiency Code (2008 Standards). California Energy Commission
- Cool Roofs – Moving Research into Building Codes . The Australian experience. RTAA. Workshop on Advances in Cool Roof Research

- ECRC Code of Conduct. ECRC
- ECRC Membership Fees. ECRC
- ECRC Principles of Membership. ECRC
- Efecto Isla de Calor. LEED
- Efficiency Standards. California Energy Commission
- Efficiency renewables & demand analysis division. Q&A. CEC
- Energy Efficient Roofs. Center for Environmental Innovation in Roofing
- European Cool Roof Council Application Form. ECRC
- European Cool Roof Council. Setting the Scene. ECRC
- Guide to title24. California building standards code 2010. CRRC
- Las sombras de la ciudad revelan sus flujos de energía. PTEC, Plataforma Tecnológica de Construcción
- Membership Application Process. ECRC
- Minutes of ECRC Meeting – 16 Jan 2012 Brussels. ECRC
- Product rating program CRRC-1. CRRC
- Residential alternative calculation Method (acM) approval Manual. California Energy Commission
- Revised ECRC Value Proposition and Mission. ECRC
- Solar Reflectance Index Calculation Worksheet. CECStatement of product testing and certification in the ECRC. European Coil Coating Association
- The Pacific Energy Center's Guide to: California Climate Zones and Biocimatic design. The Pacific Energy Center



- Title 24, Part 6, of the California Code of Regulations: California's Energy Efficiency Standards for Residential and Nonresidential Buildings Summary of the adopted 2008 Cool Roof Prescriptive Requirements (as of 6/30/08). CEC
- Using the European Cool Roof Council's Labels. Guide. Draft document. ECRC
- VRONINKS & RICKER, notaris associats. European cool roofs council. Legals bases
- Federico Rossi –CIRIAF STRATEGIES AGAINST GW: A SURPLUS VALUE FOR COOL ROOFS
- South Australia's Cool Roofs Regulation
- Cool Roofs: City of Melbourne Research Report

#### WEBS d'interès

- CEC; <http://www.energy.ca.gov/title24/>
- ECRC EU coolroofs council <http://coolroofs.univ-lr.fr/>
- CRRC, Cool roof rating council <http://www.coolroofs.org/>
- Global Cool Cities Alliance is a non-profit dedicated to advancing policies and actions that increase the solar reflectance of our buildings and pavements as a low cost way to promote cool buildings <http://www.globalcoolcities.org>
- MAGDAN, fabricante de materiales impermeabilizantes para la construcción; <http://www.magdan.com/>
- Cool Clay Tile Clay Tile Roof: Steeped in Tradition - Engineered for the Future by Lyla Lawry, Marketing Coordinator, MCA ; [http://www.mca-tile.com/why\\_cool\\_roof.htm](http://www.mca-tile.com/why_cool_roof.htm)
- PG&E Zero Net Energy (ZNE) Pilot Program; <http://www.pge.com>





## **ANNEX 5: COL·LABORADORS PERSONALS.**

Dr. Antoni Isalgué Buxeda

Catedràtic

Departament de Física Aplicada. Universitat Politècnica de Catalunya

Antonio.Isalgue@upc.edu

Dr. Jordi Pascual Pellicer.

Senior consultant in building physics

PhD Engineering and Physicist

Sistemes Avançats d'Energia Solar Tèrmica - AIGUASOL

jordi.pascual@aiguasol.coop

Dr. Jordi Cipriano

CIMNE: Centro Internacional de Métodos Numericos en Ingeniería

Building Energy and Environment Group. New solar energy systems area

cipriano@cimne.upc.edu

Jaume Pellicer

Brand manager Reveton Pinturas

Jaume.pellise@maertispaints.es

José López,

departament tècnic ALGECO

Jose.lopez@as.algeco.com

Carlos Castro Martín

Arquitecto del dpto. técnico de Dow Building Solutions

Dow Chemical Ibérica, S.L.

CCastro@dow.com

*ANÀLISIS TÈCNIQUES I FÍSQUES DEL COMPORTAMENT  
DE LES COBERTES “FRESQUES” (COOL ROOFS) : EL CAS DE CATALUNYA.*

Jaume Colom [jjjcolom@hotmail.com](mailto:jjjcolom@hotmail.com)

Vicente Sarrablo [sarrablo@coac.net](mailto:sarrablo@coac.net)

PIERA MALPESA ECOCERAMICA FLEXBRICK

Dr. Marti Devant,

Professor acomiadat del departament de Física i Energia Nuclear de la UPC ( ETSAV).

Impulsor de l'estació meteorològica.

Actualment a Kiefer Iberica: [marti.devant@kiefer-iberica.com](mailto:marti.devant@kiefer-iberica.com)

Dr. Eduard Bravo. Professor de

Encarregat de l'estació meteorològica.

[Eduardo.bravo@upc.edu](mailto:Eduardo.bravo@upc.edu)

Dr. Josep M Torrents

Professor del Departament Enginyeria Electrònica, UPC

[torrents@eel.upc.edu](mailto:torrents@eel.upc.edu)

Oriol Boix Aragonès

PDI, Enginyeria Elèctrica, Universitat Politècnica de Catalunya, Espanya

[oriol.boix@upc.edu](mailto:oriol.boix@upc.edu)

[boix@ee.upc.edu](mailto:boix@ee.upc.edu)

Alfonso Godoy

Expert en simulació energètica amb DESIGNBUILDER

[alfonso.godoy.m@gmail.com](mailto:alfonso.godoy.m@gmail.com)

Jordi Jané,

Enginyer de Telecomunicacions

[jjane@parclasalle.org](mailto:jjane@parclasalle.org)

## ANNEX 5

Patricia Domínguez, arquitecta  
pdmestsab@gmail.es

Àlex Cuesta, arquitecte  
alxcuesta@gmail.com

John Arent,  
Senior Engineer Architectural Energy Corporation.





## **ANNEX 6: ACTES DE SEGUIMENT ESPILL-ALGECO I CONVENI UPC-ALGECO**

Aquest annex conté el conveni que es va signar entre UPC i l'empresa ALGECO, per tal de donar cobertura a la investigació. A més a més hi ha les actes de seguiment que es van anar realitzant durant tot el procés.



## **Conveni de col·laboració ALGECO-ESPILL**

A Barcelona, 15 de maig de 2014.

### **REUNITS**

D'una part, el Dr. Enric Fossas i Colet, Rector Magnífic de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), NIF núm. Q-0818003F, amb domicili a Barcelona, C/ Jordi Girona, 31 i en representació d'aquesta, en virtut d'allò que disposen l'art. 20 de la Llei orgànica 6/2001, de 21 de desembre, d'universitats; l'article 68 dels Estatuts de la Universitat Politècnica de Catalunya, aprovats per l'Acord GOV/43/2012, de 29 de maig (DOGC núm. 6140, d'1 de juny de 2012) i de conformitat amb el nomenament per Decret 257/2013, de 26 de novembre (DOGC núm. 6512 de 29 de novembre de 2013)

I d'altra part, el Sr. Vicente Ballesteros Maestre, amb DNI 00.805.718-M i el Sr. José Antonio Montejano Romero, amb DNI 04589114-Q, mancomunadament de l'empresa ALGECO CONSTRUCCIONES MODULARES, S.A.U., amb C.I.F. A-28871192 i domicili a Camino de las Bodegas nº 4, 28140 Fuente el saz de Jarama, Madrid, els quals actuen en virtut dels poders suficients, (d'ara en endavant ALGECO)

Es reconeixen mútuament la capacitat legal suficient per obligar les seves respectives entitats i

### **MANIFESTEN**

Que l'empresa ALGECO està interessada en col·laborar amb el Programa de Doctorat de Tecnologia a l'Arquitectura, l'Edificació i l'Urbanisme de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) per al desenvolupament d'un conjunt de tasques orientades a caracteritzar solucions de materials i revestiments de cobertes d'edificis en climes mediterranis que aportin una eficient reflexió de la llum solar cara a minimitzar l'impacte ambiental i la reducció de la despesa energètica a l'edificació, i és per això que les parts formalitzen aquest conveni, que es regirà per les següents

### **CLÀUSULES**

#### **PRIMERA. Objecte del conveni**

L'objecte del conveni és el desenvolupament de diverses activitats col·laboratives, com ara l'assessorament, la difusió, el contrast, el subministrament de materials, la realització d'assaigs, simulacions i proves etc., encaminades a reconèixer el comportament a la llum solar (reflexió, absorció i emissió) dels materials habitualment emprats a les cobertes dels edificis de l'àmbit mediterrani cara a la seva millora com a factor de reducció del impacte ambiental de l'edifici.

Aquest conveni s'emmarca en el projecte de tesi doctoral que està desenvolupant l'arquitecte i professor de la UPC, Sr. Oriol Muntané Raich dins del programa de Doctorat "Tecnologia a l'Arquitectura, l'Edificació i l'Urbanisme".

#### **SEGONA. Descripció dels treballs**

*Veure annex 1: Pla de treball. Cronologia*

#### **TERCERA. Equip humà**

Per part de l'empresa ALGECO, l'interlocutor del conveni és el Sr. José López i l'adreça a la qual s'hauran de trametre les notificacions és la següent: [jose.lopez@as.algeco.es](mailto:jose.lopez@as.algeco.es)

Per part de la UPC, la persona responsable del conveni és el professor Joan-Lluís Zamora Director del Departament de Construccions Arquitectòniques I de la Universitat Politècnica de Catalunya i tutor de la tesi doctoral de l'arquitecte Oriol Muntaner Raich, l'adreça a la qual s'hauran de trametre les notificacions és la següent, [oriolmuntane@poma.cat](mailto:oriolmuntane@poma.cat)





#### QUARTA. Obligacions de les parts contractants

##### a) Obligacions de l'empresa:

1. L'empresa ALGECO es compromet a prestar tot el seu suport documental i informatiu als responsables del projecte en tots aquells aspectes que puguin resultar útils per aquesta tesi doctoral i fins on permetin les seves regles de confidencialitat.
2. L'empresa ALGECO es compromet a aportar aquells materials o productes que actualment estigui fabricant o desenvolupant ( a excepció d'aquells que incompleixin altres contractes amb d'altres entitats o d'aquells sotmesos a processos de confidencialitat per part de la mateixa empresa ALGECO) i que puguin ser útils pel desenvolupament d'aquesta tesi doctoral.
3. L'empresa ALGECO es compromet a sufragar aquelles despeses, prèviament acordades amb la UPC, que s'hagin de liquidar a tercers com a conseqüència dels treballs d'aquesta col·laboració.

##### b) Obligacions de la UPC:

1. L'organització dels recursos humans i materials al seu abast necessaris per a la realització de la tesi doctoral esmentada.
2. La direcció, la coordinació i el control de l'equip de treball
3. La redacció i el lliurament dels informes corresponents, descrits en *L'annex 1: Pla de treball. Cronologia*

#### CINQUENA. Durada

Aquest conveni entrarà en vigor el dia després de ser signat per ambdues parts.

La duració prevista per al desenvolupament dels treballs experimentals d'aquesta tesi doctoral està indicada a l'*annex 1: Pla de treball. Cronologia*. Aquest durada pot ser prolongada per mutu acord entre totes dues parts.

La UPC té dret a una ampliació del termini pels motius següents:

1. Causes de força major no atribuïbles a la UPC
2. Endarreriments superiors a 15 dies en l'aportació per part d'ALGECO d'alguna de les seves col·laboracions o de les dades necessàries per continuar el treball

No obstant això, ALGECO CONSTRUCCIONES MODULARES podrà suspendre el present contracte en qualsevol moment, amb un preavís de 15 dies a la part contrària, havent de procedir aquesta a la devolució dels materials propietat d'ALGECO, sense que cap de les dues parts tingui dret a una compensació o indemnització per tal resolució. Abans d'aquesta suspensió, l'empresa s'haurà de fer càrrec d'aquelles despeses que la UPC hagi de liquidar amb tercers i que haguin estat realitzades i acordades entre ambdues institucions abans de la suspensió del present contracte tal i com s'estableix a la clàusula quarta apartat a) 3.

#### SISENA. Confidencialitat

Ambdues parts reconeixen el caràcter estrictament confidencial de la informació següent:

- La que hagin rebut de l'altra part amb motiu del projecte objecte d'aquest conveni i que hagi estat identificada com a confidencial, llevat que ja la coneguessin prèviament i ho puguin acreditar o sigui de coneixement públic o arribi al coneixement públic.

- Tota la que sigui resultat del desenvolupament del projecte comú objecte d'aquest conveni.

Per tant, les parts s'obliguen a no difondre la informació confidencial sense el consentiment de l'altra part, així com a garantir el compliment d'aquesta obligació per part de totes les persones al seu càrrec que participen en el projecte.

Considerant la finalitat científica i d'investigació de la Universitat, i sempre i quan això no pugui perjudicar el procés de registre d'una possible invenció, ALGECO facilitarà que els professors participants en el projecte puguin difondre els resultats de la investigació, finals o parcials, en articles, conferències, ponències, etc, sempre en l'àmbit científic d'investigació. Si interessés fer-ho, la Universitat sol·licitarà autorització escrita a l'Empresa, amb indicació concreta de l'ús que es pretén fer. Transcorreguts 20 dies naturals des de la tramesa de la sol·licitud sense que l'Empresa hagi manifestat la seva negativa, s'entendrà que n'autoritza l'ús.

Les parts s'autoritzen recíprocament a donar informació pública de la signatura d'aquest conveni, amb indicació del títol, el contingut, el pressupost i el termini de realització.

#### **SETENA. Autoria, responsabilitats i col·laboracions**

##### **a). Autoria**

En tot document que no sigui d'ús intern a la UPC o a ALGECO, es respectarà sempre la menció dels autors del treball.

##### **b). Responsabilitats**

Algeco cedeix a la UPC tres unitats modulars de 6.21 x 2.44 mts., i el Complex Educatiu de Tarragona, col·laborador d'ALGECO, cedeix els terrenys, sent la UPC qui assumeix la responsabilitat en quant a seguretat i riscos laborals i totes les responsabilitats enfront tercers provocades directament pel desenvolupament dels treballs objecte d'aquesta col·laboració.

##### **c). Col·laboracions**

L'Empresa ALGECO i la UPC podran convidar, amb l'autorització de l'altra part, a participar en aquest conveni com a col·laboradors a altres empreses o grups universitaris interessats, establint de comú acord el marc d'aquesta col·laboració

#### **VUITENA.- Ús de la imatge de la UPC**

En tots aquells casos que com a conseqüència i en aplicació dels acords aquí establerts l'empresa ALGECO consideri necessari fer ús dels logotips de la UPC, haurà de demanar prèvia autorització a la Universitat, a través del Servei de Comunicació i Promoció, especificant l'aplicació corresponent (sigui gràfica o electrònica i sobre qualsevol suport) i el tipus d'ús sol·licitat.

En l'autorització, que en tot cas caldrà atorgar per escrit, s'especificarà l'ús o usos pels quals es reconeix, així com el període de vigència, que en cap cas podrà superar la vigència del present conveni. No obstant, quan l'ús dels logotips i altres marques identificatives de la UPC hagi de tenir caire lucratiu per l'entitat sol·licitant, caldrà formalitzar el corresponent contracte de llicència de marca.

Aquests requisits seran necessaris també en el cas de ALGECO.

#### **NOVENA. Resolució**

En el cas d'incompliment d'aquest conveni per qualsevol de les parts, l'altra part podrà optar per exigir el seu compliment o per resoldre'l amb la indemnització de danys i perjudicis en qualsevol dels casos.

#### **DECENA. Litigis**



Abans d'emprendre cap acció legal contra la Universitat, s'ha de formular la reclamació prèvia per via administrativa, tal com estableixen els articles 120 i següents de la Llei de règim jurídic de les administracions públiques i del procediment administratiu comú.

Les parts renunciïn expressament a qualsevol altre fur que els pugui correspondre i se sotmeten als jutjats i tribunals de Barcelona, perquè coneguin i decideixin sobre les qüestions que puguin derivar d'aquest conveni.

I, en prova de conformitat, ambdues parts signen aquest conveni, per duplicat i a un sol efecte.

El rector de la Universitat Politècnica de Catalunya

Dr. Enric Fossas Colet

Representant legal d'ALGECO

Sr. Vicente Ballesteros  
Maestre

Sant Cugat del Vallès, 15 de maig de 2014

## ANNEX 1: Pla de treball. Cronologia.

### INTRODUCCIÓ:

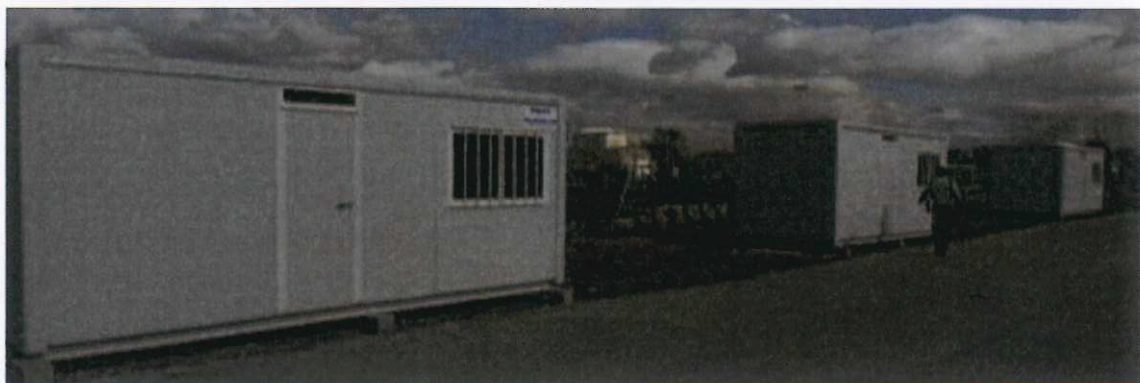
<http://www.algeco.es/es/productos/modulos-prefabricados>

ALGECO cedirà durant un període de (10 mesos) tres mòduls de 15 m<sup>2</sup> i l'energia per a mantenir la temperatura constant. Cada un d'aquests mòduls s'equiparan amb 3 sondes. Les dades mesurades seran emmagatzemades en uns dataloggers amb recollida de dades cada 15 min. Les sondes es col·locaran en llocs que puguin oferir una noció de la temperatura de l'aire interior del mòdul i de les superfícies de la coberta. Les sondes es disposaran:

- una mesurant la temperatura interior,
- una en la superfície inferior del sostre
- una en la cara superior de la coberta.

### SITUACIÓ:

Província de Tarragona. Universitat Laboral. Camí Vell de Salou, 0 43006 Tarragona tel.977 54 01 74.



Cada mòdul porta incorporat una bomba de calor per refredar o escalfar per aire, el qual mantindrà una temperatura interior establerta. Aquesta serà definida en un termòstat interior.

Cada aparell disposarà d'un comptador elèctric per a mesurar el consum de kwh elèctrics.

4





#### MATERIALS D'ACABATS DE LES COBERTES.

Els materials d'acabat de coberta seran tres: La solució estàndard dels mòduls de lloguer d'Algeco, una solució bàsica per aquest tipus de mòdul i una solució més "arquitectònica" per a construccions definitives.

Mòdul 0: solució estàndard d'ALGECO

Mòdul 1: solució de pintura amb alta capacitat reflectant i alta emissivitat.

Mòdul 2: a determinar.

#### VARIABLES METEOROLÒGIQUES:

A dos quilometres en línia recta de la situació dels mòduls hi ha una estació del servei de Meteorologia de Catalunya: ESTACIÓ Tarragona - Complex Educatiu (UTM : X (m): 349030, Y (m):4552058) . Aquesta estació recull les variables de: Velocitat del vent, Direcció del vent, Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), Humitat relativa (%), Pressió atmosfèrica (hPa), Precipitació (mm), Irradiància solar global ( $\text{W}/\text{m}^2$ ). La recollida de dades és cada 30min.



#### RESULTATS ESPERATS.

Amb la recol·lecció de temperatures s'espera obtenir resultats concloents de la variabilitat de la temperatura –i confort- interior depenent de l'acabat de coberta emprat, així com de l'estalvi en el consum elèctric per a climatització. A partir d'aquestes dades serà fàcil deduir l'estalvi econòmic i temps de retorn de cada solució.

Handwritten signature or mark.

CRONOLOGIA:

DURADA	FEINES	FRUITS
1 set 10-14 març '14	Muntatge de sondes i comptadors elèctrics. Augmentar inèrcia tèrmica a l'interior dels mòduls afegint bidons d'aigua.	
1 set 17-21 març '14	Inici de les mesures:	Mesurar temperatures dels tres mòduls i comparar-les per garantir la similitud de condicions en cada un dels mòduls. Validar els resultats.
1 set 24-28 març '14	Inici de climatització: engegar les tres màquines de clima, una en cada mòdul	Mesurar temperatures dels tres mòduls i despesa energètica de cada una de les màquines. Validar resultats, verificar rendiments de cada una de les màquines.
1 set 31 març -4 abril '14	Aplicació sobre coberta mòdul 1 de pintura termorefectant. Aplicació sobre coberta mòdul 2 de solució ceràmica.	
17 set. 7 abril -1 agost '14	Recollir dades quinzenalment de cada un dels mòduls.	Anàlisi de resultats, formació de gràfiques, estudi d'estalvis energètics. Creuament amb dades de meteo.
Final etapa 1 (total 21 setmanes, del 10 de març a 1 d'agost, aprox. 5 mesos) Fins a solstici. S'esperen els resultats més favorables, on els estalvis en energia seran superiors. Ha estat funcionant durant els mesos de més radiació solar.		Redacció de conclusions de l'etapa 1. Proposta de nous acabats per als mòduls, tan per als de lloguer com per als d'edificis definitius.
20 set 4 agost -19 desembre '14	Recollir dades quinzenalment de cada un dels mòduls.	Anàlisi de resultats, formació de gràfiques, estudi d'estalvis energètics. Creuament amb dades de meteo.
Final etapa 2 (total 20 setmanes, del 4 d'agost al 19 de desembre, aprox. 5 mesos)		Redacció de conclusions de l'etapa 2. Revisar els estalvis generats en cada etapa. Verificar la bondat de la solució durant etapes de menys radiació. Analitzar si hi ha penalitzacions en la climatització.
2 set 12 -24 gener '15		Redacció de conclusions i memòria de la col·laboració ALGECO-ESPILL

**Data: dilluns 17 de març de 2014**

**ASSISTENTS:**


UPC: Oriol Muntané

Algeco: Sr Toni i Xavi

**FEINES FETES:**

Han quedat instal·lats i mesurant els tres dataloggers. Cada un te tres sondes instal·lades.

Han quedat instal·lats els tres comptadors elèctrics.

 <b>N</b>	<div>0</div> <p>mòdul 0: mantindrà la coberta de xapa galvanitzada. Solució bàsica d'Algeco</p>	<div>1</div> <p>Mòdul 1: millorarem la solució de coberta amb una pintura termorefectant</p>	<div>2</div> <p>Mòdul 3: solució per decidir. Opció 1: amb element ceràmic o de rebuig Opció 2: coberta Algeco millorada doblant amb aïllament i càmera d'aire</p>
--	---	--	--

Sonda 1: exterior coberta (temperatura superficial)

Sonda 2 : interior coberta, sostre (temp. Superficial)

Sonda 3: interior aire. (temperatura interior mòdul)

**INCIDÈNCIES:**



Els mòduls no tenen subministrament elèctric. Cal fer arribar corrent a cada un d'ells.

**IMATGES:**



**Panoràmica general mòduls 0 , 1 i 2**

**dattalogger**

	
<b>Sondes coberta</b>	<b>Comptadors electricitat.</b>

### **PREVISIÓ:**

Durant un període de temps (7-10 dies), es prendran les dades de temperatura de cada un dels mòduls. Comparant aquest valors identificarem el grau d'igualtat de cada mòdul.

En la proera visita caldria tenir la possibilitat d'engegar els climatitzadors per identificar el grau de rendiment de cada un.



Data: dilluns 31 de març de 2014


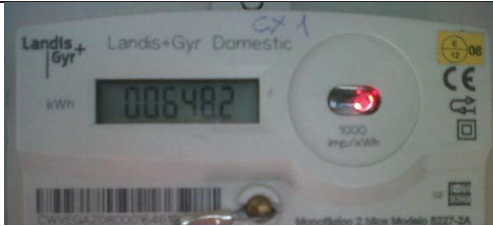
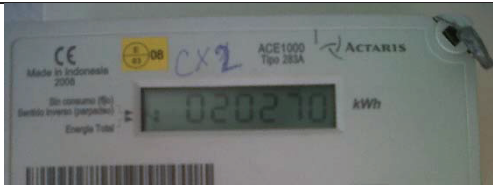
**ASSISTENTS:**

UPC: Oriol Muntané

**FEINES FETES:**

Es descarreguen les dades dels tres dattaloggers.

S'engega l'aire condicionat i es prenen les dades dels tres comptadors elèctrics.

Mòdul	comptador
Mòdul 0	 3.774 kwh
Mòdul 1	 6.482 kwh
Mòdul 2	 20.270 khh

Les condicions en que es deixa l'aire es: (igual per a tots tres mòduls):

Mòdul 0, 1 i 2	
-------------------	--

### INCIDÈNCIES:

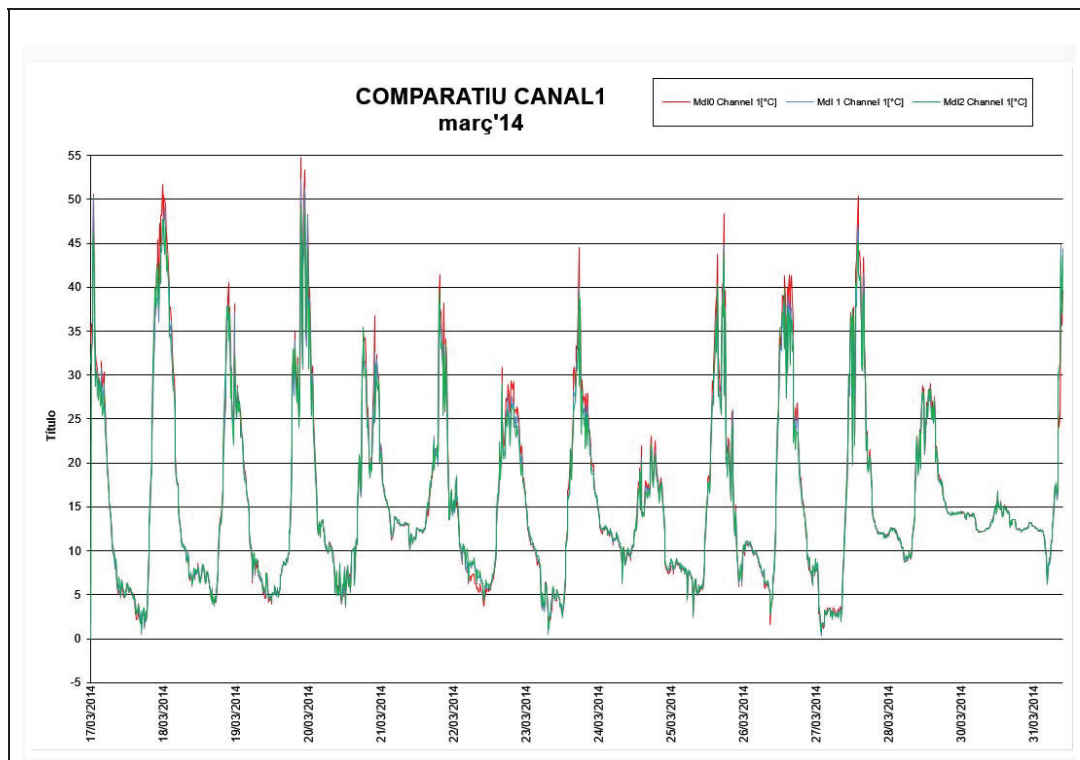
En el mòdul núm. 2 la sonda 2 s'havia desenganxat del sostre.

Sonda 1: exterior coberta (temperatura superficial)

Sonda 2 : interior coberta, sostre (temp. Superficial)

Sonda 3: interior aire. (temperatura interior mòdul)

### IMATGES:



### PREVISIÓ:

L'aire estarà engegat ininterrompudament durant un període de 7-10 dies. Durant aquests dies s'intentarà contactar amb el Sr. Manuel Torrado per si em pugues dictar els valors dels comptadors dels tres mòduls. Aquesta lectura serà per determinar que tot estigui funcionat.

Cal fer el comparatiu de valors obtinguts durant aquests primers 15 dies a fi i efecte de determinar si les condicions en cada mòdul són similars. A la imatge superior es veu la gràfica dels valors de la sonda 1 en els mòduls 0,1 i 2. Falta fer estudi numèric de les diferències de temperatures obtingudes.

La propera visita caldrà baixar les dades de temperatura i anotar els consums elèctrics. Serà el moment de concretar data per a pintar la coberta del mòdul 1

**Data: dilluns 14 d'abril de 2014**

**ASSISTENTS:**

UPC: Oriol Muntané

**FEINES FETES:**

Es descarreguen les dades dels tres dattaloggers.

S'apaga l'aire i es prenen les lectures dels comptadors. Es determinen els consums

	Lectura		consum
Mòdul	31/03/14	14/04/14	
Mòdul 0	3.774 kwh	3.818	44 kwh
Mòdul 1	6.482 kwh	6.527	45 kwh
Mòdul 2	20.270 kwh	2.0317	47 kwh

Es deixen els sondes que segueixin medint.

S'han fet els comparatius entre els tres mòduls i els número de resultats amb variacions de menys de 1°C és el següent:

	Dif Md 0 i 1			dif Md 0 i 2		dif Md 1 i 2	
Canal 1 Md 0 i 1 i 2	dif majors a 1,5C	129	9,63%	210	15,68%	102	7,62%
	dif majors a 1,C	86	6,42%	103	7,69%	81	6,05%
	dif majors a 0,5C	177	13,22%	266	19,87%	215	16,06%
	dif majors a 0,2C	274	20,46%	271	20,24%	329	24,57%
	dif majors a 0,1C	186	13,89%	163	12,17%	188	14,04%
	dif 0C	487	36,37%	326	24,35%	424	31,67%
	TOTAL	1339	100,00%	1339	100,00%	1339	100,00%
	dif<1		83,94%		76,62%		86,33%
Canal 2 Md 0 i 1 i 2	dif majors a 1,5C	18	1,34%	41	3,06%	6	0,45%
	dif majors a 1,C	64	4,78%	114	8,51%	11	0,82%
	dif majors a 0,5C	191	14,26%	187	13,97%	118	8,81%
	dif majors a 0,2C	477	35,62%	403	30,10%	213	15,91%
	dif majors a 0,1C	221	16,50%	229	17,10%	273	20,39%
	dif 0C	368	27,48%	365	27,26%	718	53,62%
	TOTAL	1339	100,00%	1339	100,00%	1339	100,00%
	dif<1		93,88%		88,42%		98,73%
Canal 3 Md 0 i 1 i 2	dif majors a 1,5C	108	8,07%	97	7,24%	107	7,99%
	dif majors a 1,C	52	3,88%	68	5,08%	65	4,85%
	dif majors a 0,5C	179	13,37%	292	21,81%	286	21,36%
	dif majors a 0,2C	315	23,53%	363	27,11%	242	18,07%
	dif majors a 0,1C	188	14,04%	166	12,40%	165	12,32%
	dif 0C	497	37,12%	353	26,36%	474	35,40%
	TOTAL	1339	100,00%	1339	100,00%	1339	100,00%
	dif<1		88,05%		87,68%		87,15%

**INCIDÈNCIES:**

No es detecta cap incidència. Les sondes estan ben fixades.

Sonda 1: exterior coberta (temperatura superficial)

Sonda 2 : interior coberta, sostre (temp. Superficial)

Sonda 3: interior aire. (temperatura interior mòdul)



Els tres aparells d'aire i els comptadors d'energia han funcionat correctament. Cal determinar si la variació dels consums pot ser per resultes de temperatures interiors superiors (per mòdul amb més filtracions, o per rendiments diferents dels aparells. )

#### IMATGES:



#### PREVISIÓ:

Acordem amb Jaume Pellicer de REVETON, Jose Lopez d'ALGECO i jo que el dia 28 d'abril es pintarà la coberta del mòdul 1.

**Data: dilluns 28 d'abril de 2014**

**ASSISTENTS:**

REVETON: Jaume Pellice i Oscar (aplicador)

UPC: Oriol Muntané

**FEINES FETES:**

Es revisen les lectures dels sensor i funcionen perfectament.

Es munta la bastida pe accedir sobre el mòdul num. 1 i es pinta amb REVSUN FERCOAT (primera capa) i REVSUN METAL (segona capa)

S'observa una baixada considerable de les temperatures superficials de coberta (sonda 1) del mòdul 1. Igualment compara amb mòdul 0. Veure imatges.

**INCIDÈNCIES:**

No es detecta cap incidència. Les sondes estan ben fixades.


Sonda 1: exterior coberta (temperatura superficial)

Sonda 2 : interior coberta, sostre (temp. Superficial)

Sonda 3: interior aire. (temperatura interior mòdul)

## IMATGES:

	<p>Mòdul 0: temperatura superficial superior i inferior de la coberta. Sondes 1 i 2. Hora aprox. 11'00</p>
	<p>Mòdul 1: temperatura superficial superior i inferior de la coberta. Sondes 1 i 2. La coberta estava mig pintar La temperatura de la sonda 2 es superior perquè just a sota hi havia el compressor per a pintar. Hora aprox. 11'30</p>
	<p>Mòdul 1: temperatura superficial superior i inferior de la coberta. Sondes 1 i 2. La coberta estava pintada amb una primera capa. Hora aprox. 12'30</p>
	<p>Mòdul 1: temperatura superficial superior i inferior de la coberta. Sondes 1 i 2. La coberta estava pintada amb totes dues capes. Hora aprox. 12'30 Cal considerar que hi ha l'efecte evaporatiu i que per tant aqueta temperatura tendirà a pujar una mica, un cop assecada totalment la pintura.</p>

	<p><b>Coberta estat inicial</b></p>
	<p><b>Procés de pintat.</b></p>
	<p><b>Estat final</b></p>

**PREVISIÓ:**

Es preveu una propera visita per a descarregar dades d'aquí a 15 dies. Dilluns 12 de maig.

Es proposa a Josep López muntar una coberta millorada segons el seu model (doblat aïllament i xapa metàl·lica) per tal de comparar-ho amb una coberta blanca.

**Data: dilluns 12 de maig de 2014**

**ASSISTENTS:**

UPC: Oriol Muntané

**FEINES FETES:**

S'observa la solució de la coberta millorada d'ALGECO amb un aïllament addicional i una nova coberta metàl·lica. Veure imatge.






Es revisen les lectures dels sensor i funcionen perfectament. Es descarreguen les dades llegides en els tres datalogguers i s'engeguen els aires. Les condicions dels aires són iguals per als tres mòduls. En la imatge la del mòdul 0



Mòdul 0

Es fotografien les lectures dels tres comptadors elèctrics.

		
Mòdul 0. 3818kwh	Mòdul 1. 6527kwh	Mòdul 2. 20317kwh

S'han començat a analitzar el funcionament de les tres cobertes en règim lliure (sense cap condicionament artificial). Veure les gràfiques en l'apartat imatges.

#### INCIDÈNCIES:

No es detecta cap incidència. Les sondes estan ben fixades.

Sonda 1: exterior coberta (temperatura superficial). En el Mòdul 2 aquesta sonda ha quedat en la coberta antiga, per tant sota l'aïllament i la nova xapa de la coberta ALGECO millorada

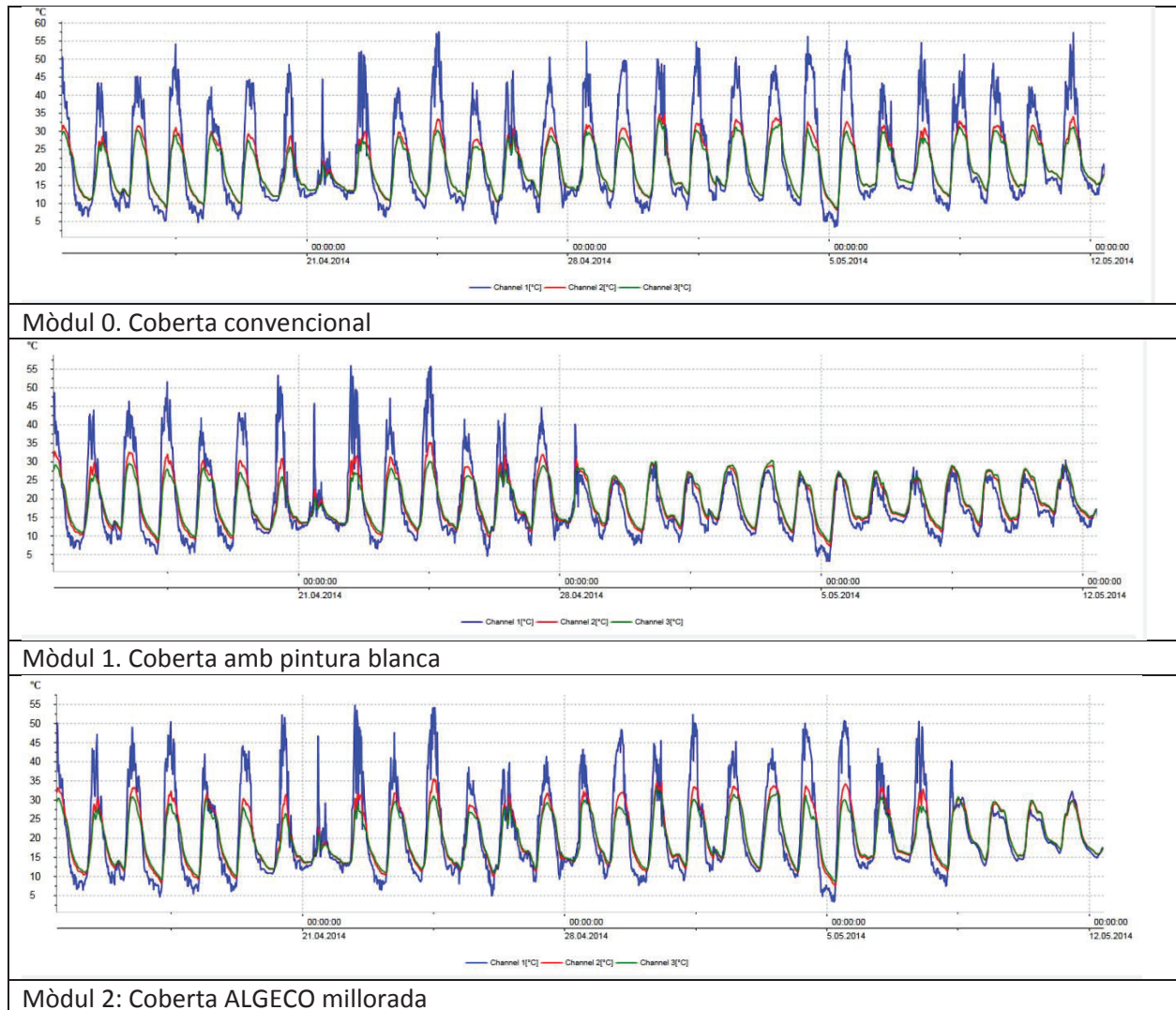
Sonda 2 : interior coberta, sostre (temp. Superficial)

Sonda 3: interior aire. (temperatura interior mòdul)



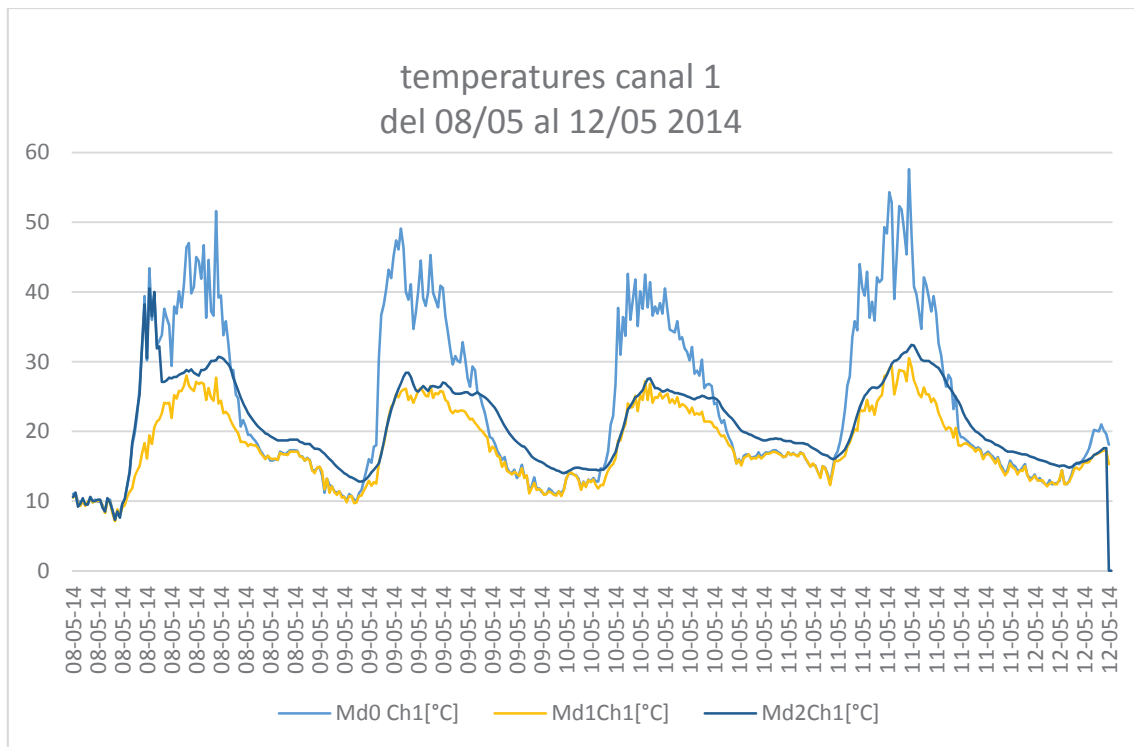
## IMATGES:

Les següent tres gràfiques són el comportament dels mòduls en el període que va del 14/04 al 12/05 del 2014. Es interessant apreciar com en les gràfiques dels Md 1 i 2 el descens de les temperatures al modificar la solució d'acabat de coberta.



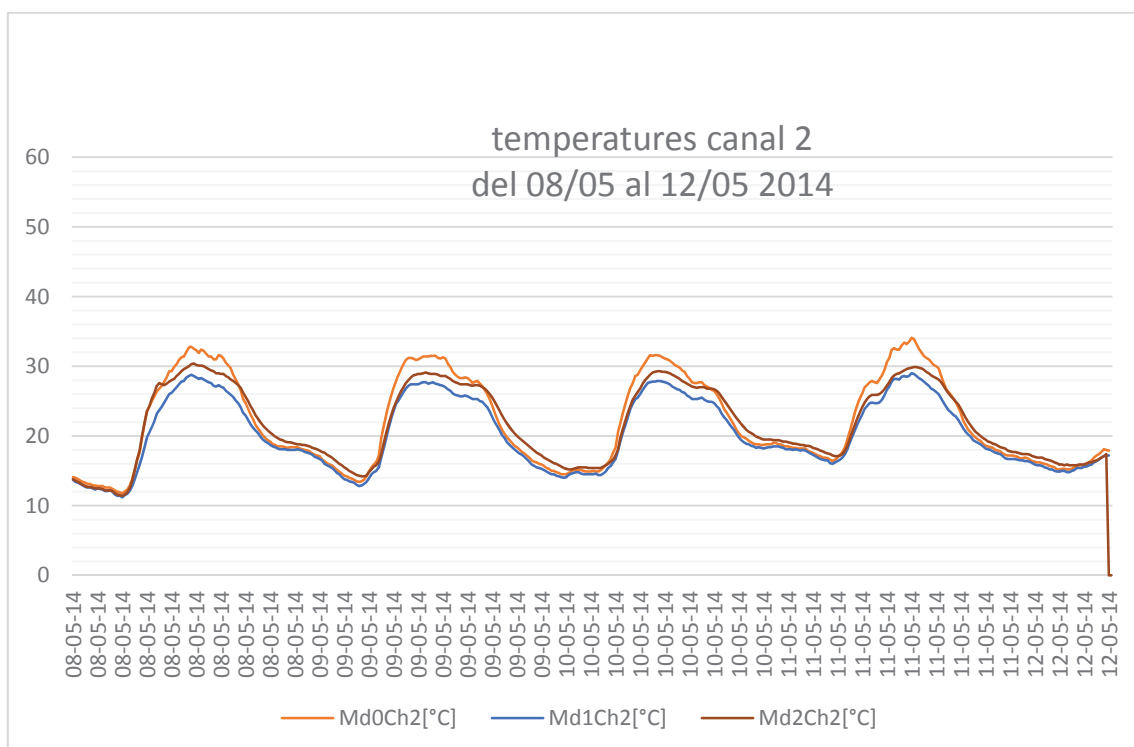
Les següents tres gràfiques s'han fet en el període que ja s'havien executat les modificacions en els mòduls 1 i 2. Les transformacions en les cobertes han estat les ja comentades:

- Mòdul 0: solució bàsica
- Mòdul 1: pintura blanca
- Mòdul 2: solució millorada. Doblat d'aïllament (tipus i gruix??) i nova xapa metàl·lica.

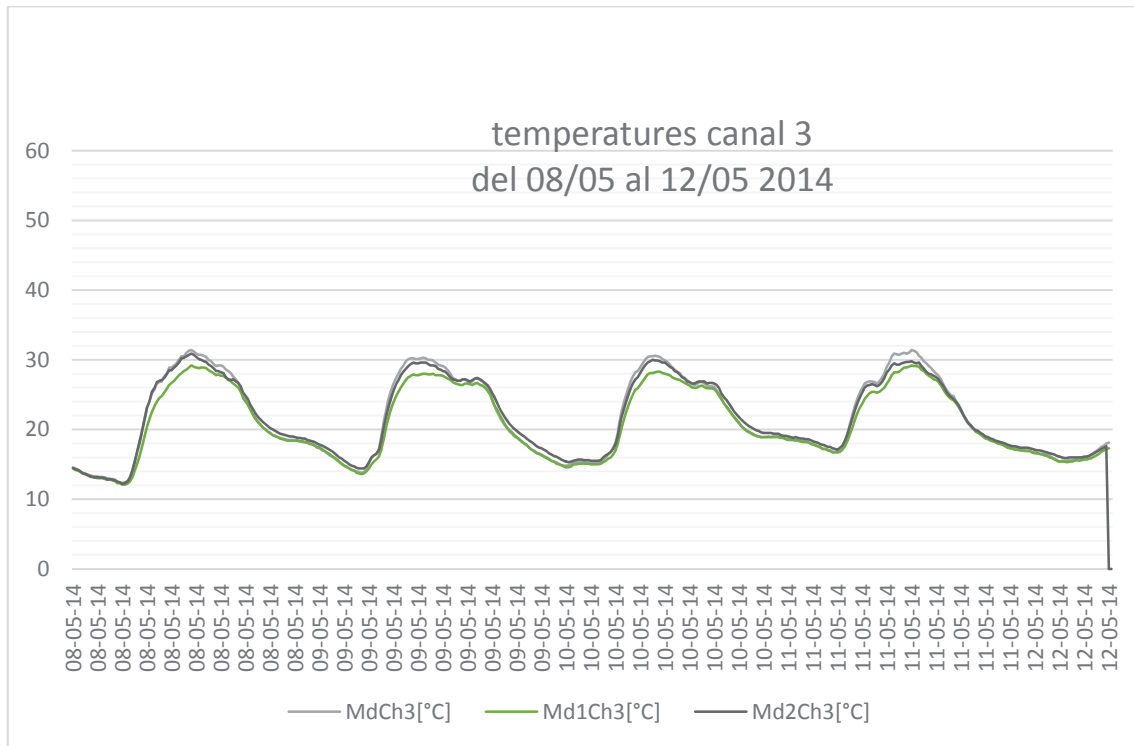


En aquesta gràfica s'aprecia com les temperatures superficials en la cara superior de la coberta. (es recorda que la temperatura del mòdul 2 no és superficial sinó en la cambra intermitja ,o sigui per sobre te l'aïllament i una xapa metàl·lica). Es veu clarament que la temperatura sobre la cara del mòdul 0 pot arribar a ser fins a 25°C superior.

Les temperatures en els altres dos casos Md1 i 2 es relativament semblant, lleugerament superior en el mòdul 2 que en el mòdul 1



Aquestes són les gràfiques dels canals 2, sensor situat a la cara interior del sostre. Les diferències màximes entre els Md0 i 1 són d'aproximadament 4°C. Es remarcable dues coses : La primera que el sostre dels Md 1i 2 s'escalfa de forma semblant però després, a les hores sense radiació, el sostre del Md 1 es refreda més ràpidament. La segona que la temperatura del sostre del Md2, durant les hores de no radiació, es manté superior a la del Md 0. Això és degut a l'augment d'aïllament d'una respecte l'altre, el que dificulta la evacuació de calor.



Temperatures de l'aire interior, aproximadament a 1,70 cm del terra. Les diferències màximes estan al voltant de 3°C. Són entre els Md 0 i 1. A les hores nocturnes, no hi ha diferència entre els Md1 i 2.

#### PREVISIÓ:

Es preveu una propera visita per a descarregar dades el dimecres 4 de juny.

**Data: dilluns 16 de juny de 2014**

**ASSISTENTS:**

UPC: Oriol Muntané

**FEINES FETES:**

Es revisen les lectures dels sensor i funcionen perfectament. Es descarreguen les dades llegides en els tres dataloggers i s'engeguen els aires.

Es canvia la pila del datalogger del mòdul 1



Les lectures dels tres comptadors elèctrics.

data	Mòdul 0.	Mòdul 1.	Mòdul 2.
12/05/14	3818 Kwh	6527 Kwh	20317 Kwh
16/06/14	3926 Kwh	6635 Kwh	20426 Kwh
Dif.	108 Kwh	108 Kwh	109 Kwh

Es segueix analitzant el funcionament de les cobertes.. Veure les gràfiques en l'apartat imatges.

Es detecta que el funcionament de l'aire no ha estat el previst. Es preveuen dues possibilitats:

- Que el termòstat no funcioni
- Que el mòdul en que s'havia posat no refresqués sinó que només ventilés. Veure posició de la data 12/05/14 i la nova posició en que s'ha deixat ara.

12/05/14	
16/06/14	
En el comandament THERMOSTAT es passa del 5 al 7 En el comandament MASTER CONTROL es passa del LOW AN al SUPER QUITE	

Aquesta nova configuració de l'aparell de clima es mantindrà així almenys 15 dies.

**INCIDÈNCIES:**

Les sondes estan ben fixades.

Sonda 1: exterior coberta (temperatura superficial). En el Mòdul 2 aquesta sonda ha quedat en la coberta antiga, per tant sota l'aïllament i la nova xapa de la coberta ALGECO millorada

Sonda 2 : interior coberta, sostre (temp. Superficial)

Sonda 3: interior aire. (temperatura interior mòdul)

S'ha detectat que el consum ha estat idèntic en tots tres mòduls. Tal i com s'ha exposat, això segurament és degut a una mala programació del aparell de clima.

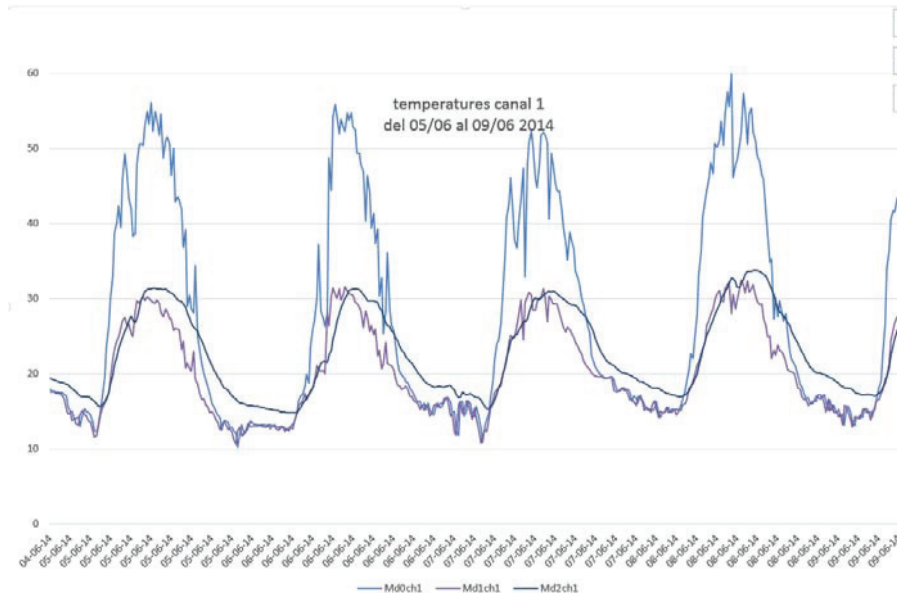
**PREVISIÓ:**

Es preveu una propera visita per a descarregar dades el dimecres 30 de juny.

## IMATGES:

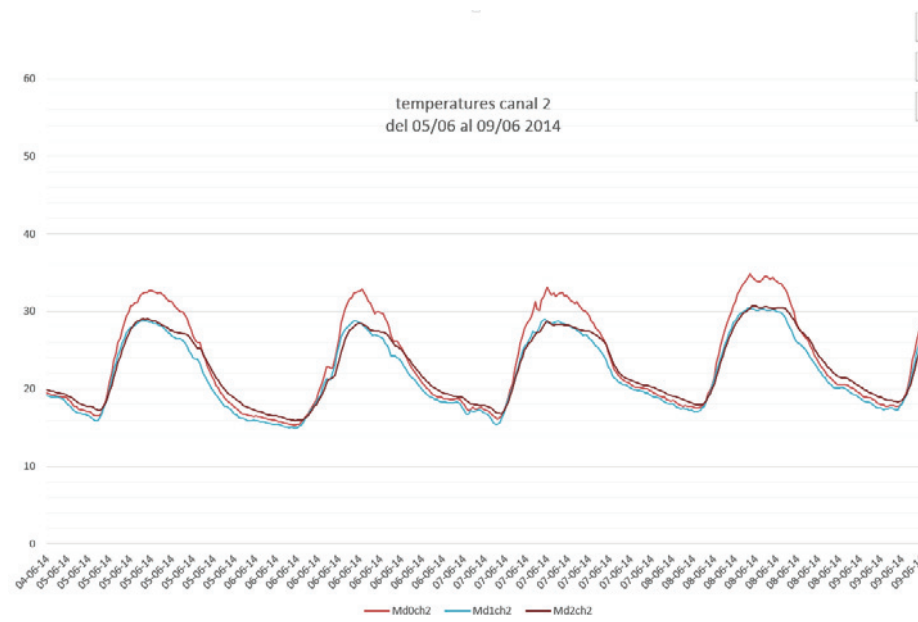
Les següents tres gràfiques s'han fet en el període que ja s'havien executat les modificacions en els mòduls 1 i 2. Les transformacions en les cobertes han estat les ja comentades:

- Mòdul 0: solució bàsica
- Mòdul 1: pintura blanca
- Mòdul 2: solució millorada. Doblat d'aïllament (tipus i gruix??) i nova xapa metàl·lica.



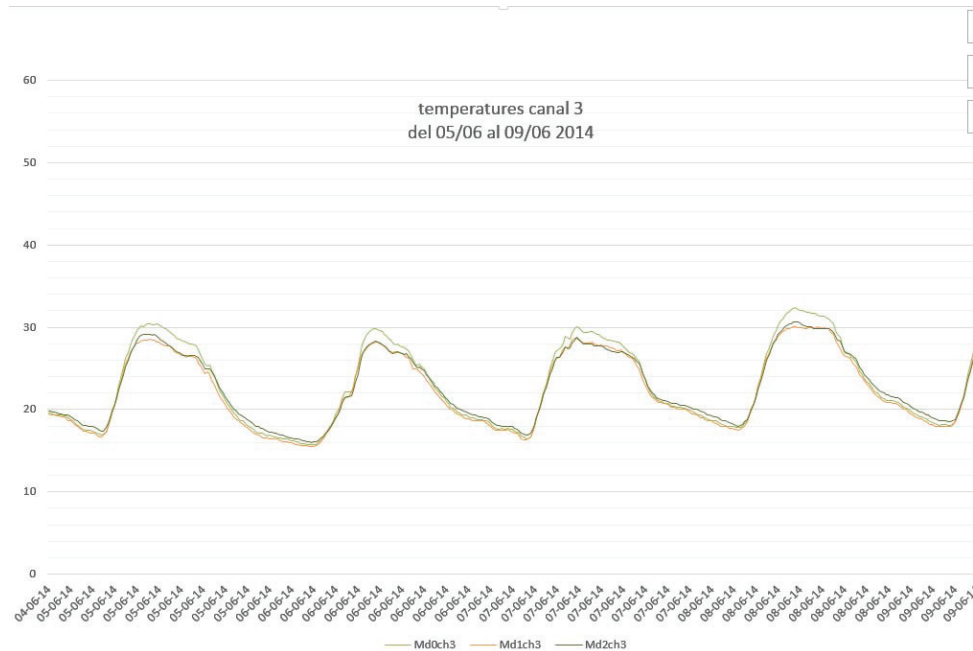
En aquesta gràfica s'aprecia com les temperatures superficials en la cara superior de la coberta. (es recorda que la temperatura del mòdul 2 no és superficial sinó en la cambra intermitja, o sigui per sobre te l'aïllament i una xapa metàl·lica). Es veu clarament que la temperatura sobre la cara del mòdul 0 pot arribar a ser fins a 25°C superior a la del mòdul 1.

Les temperatures en els altres dos casos Md1 i 2 es relativament semblant, però, lògicament la temperatura sobre el mòdul 1 és molt més sensible a les variacions de la radiació solar, d'aquí la forma cantelluda de la corba. En canvi la corba del mòdul 2 és molt més arrodonida.



Temperatures ala cara inferior de la coberta de l'aire interior, és detectat un diferència puntual a les hores de màxima radiació, ( entre els mòduls 1 i 2 i el 0) d'uns 5 graus.

Es manté la tendència, ja indicada en l'ultima acta, de com s'escalfa i es refreda. El mòdul 1, la temperatura augment lleugerament més ràpid però cau més ràpidament que en el mòdul 2.



Canal 3, aproximadament a 1,70 cm del terra. Les diferències màximes estan al voltant de 3°C. Són entre els Md 0 i 1. A les hores nocturnes, (o de falta de radiació) el mòdul que perd temperatura amb més facilitat és l'1, seguit del 0 i el 2. O sigui, el mòdul que més li costa refrescar-se és el 2.



**Data: dimarts 1 de juliol de 2014**

**ASSISTENTS:**

UPC: Oriol Muntané

**FEINES FETES:**

Es revisen les lectures dels sensor i funcionen perfectament. Es descarreguen les dades llegides en els tres datalogguers i s'engeguen els aires.

Les lectures dels tres comptadors elèctrics.

data	Mòdul 0.	Mòdul 1.	Mòdul 2.
16/06/14	3926 KWh	6635 KWh	20426 KWh
01/07/14	3926 KWh	6635 KWh	20426 KWh

Com és pot veure no hi ha hagut consum. Això és perquè l'interruptor automàtic del quadre no aguanta la potència dels 3 aires. Es demana a ALGECO si es pot canviar l'interruptor. A data de 9 de juliol es canvia. Xavi (manteniment ALGECO Tarragona) em confirma que els tres aires funcionen.

Es manté la posició de funcionament dels aires tal i com s'havia deixat el passat 16/06/14.

16/06/14		
1/07/14		

Aquesta nova configuració de l'aparell de clima es mantindrà així almenys 15 dies.

## INCIDÈNCIES:

Les sondes estan ben fixades.

Sonda 1: exterior coberta (temperatura superficial). En el Mòdul 2 aquesta sonda ha quedat en la coberta antiga, per tant sota l'aïllament i la nova xapa de la coberta ALGECO millorada

Sonda 2 : interior coberta, sostre (temp. Superficial)

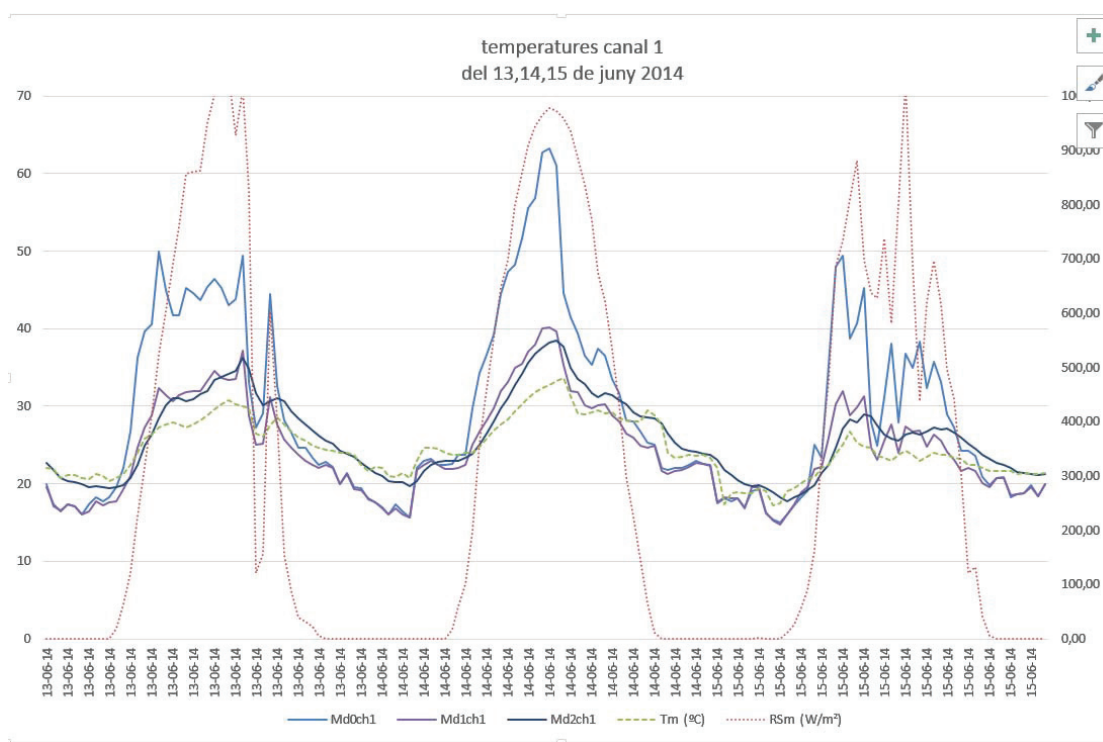
Sonda 3: interior aire. (temperatura interior mòdul)

S'ha detectat que el consum ha estat nul. Això ha sigut per la fallada del subministrament elèctric. Queda resolt a data 9/07/14 i es preveu com a mínim 15 dies de funcionament amb refrigeració

## PREVISIÓ:

Es preveu una propera visita per a descarregar dades el dimecres 23 de juliol.

## IMATGES:



S'ha començat a treballar creuant les dades de les sondes amb les de l'estació meteorològica Tarragona - Complex Educatiu del Servei Meteorològic de Catalunya.

Tal i com es detecta les corbes de la temperatura superficial de les sondes 1 segueixen la Irradiància solar (columna dreta de la gràfica). Les temperatures de les sondes 1 dels mòduls 1 i 2 són molt semblants (recordar que en el mòdul 2 està abrigada sota un aïllament tèrmic i una panxa addicional). En aquests mòduls la diferència de temperatura té unes diferències màximes de 7-8 °C. En canvi en el mòdul 0 s'arriba fins a diferències de 30°C.

Que durant la nit les temperatures superficials de les cobertes siguin inferiors a la de l'aire deu ser degut a la posició "sota coberta" del termòmetre de l'estació. (o sigui, que no veu el cel).

**Data: dijous 31 de juliol de 2014**

**ASSISTENTS:**

UPC: Oriol Muntané

**FEINES FETES:**

Es revisen les lectures dels sensors. El datalogger del mòdul 2 no ha gravat cap dada des de l'última baixada. Per tant només es podrà comparar la coberta del mòdul 0 (convencional) i del mòdul 1 (blanca).

La posició dels comandaments dels aires no és exactament la mateixa, veure les fotos del quadre següent:

Md 0			
Md 1			
Md 2			

Les lectures dels tres comptadors elèctrics.

data	Mòdul 0.	Mòdul 1.	Mòdul 2.
01/07/14	3926 KWh	6635 KWh	20426 KWh
31/07/14	4053 KWh	6816 KWh	20688 KWh
consum	127 KWh	181 KWh	262 KWh

Com és pot veure el consum no correspon ni al que s'esperava ni al que reflexen les temperatures (veure imatges). Això pot ser degut o bé a un funcionament erroni dels comptadors elèctrics, el que es difícil ja que es van provar i funcionaven bé. O bé a que els aires (segurament els compressors) han perdut eficiència i no funcionen correctament.

Es decideix mantenir els aires posats, en la posició de les imatges fins que es vingui a col·locar el flexbrick sobre el Mòdul 0

Md 0	Md1	Md2
		

### INCIDÈNCIES:

Les sondes estan ben fixades.

Sonda 1: exterior coberta (temperatura superficial). En el Mòdul 2 aquesta sonda ha quedat en la coberta antiga, per tant sota l'aïllament i la nova xapa de la coberta ALGECO millorada

Sonda 2 : interior coberta, sostre (temp. Superficial)

Sonda 3: interior aire. (temperatura interior mòdul)

El datalogger del Md2 no ha gravat les dades, això significa que s'han perdut les dades des de l'última visita. Es prova i funciona correctament, no entenc que no s'hagin gravat.

El panell de comandament dels aparells de clima era lleugerament diferent a com s'havien deixat (veure última acta).

Els consums no són els esperats.

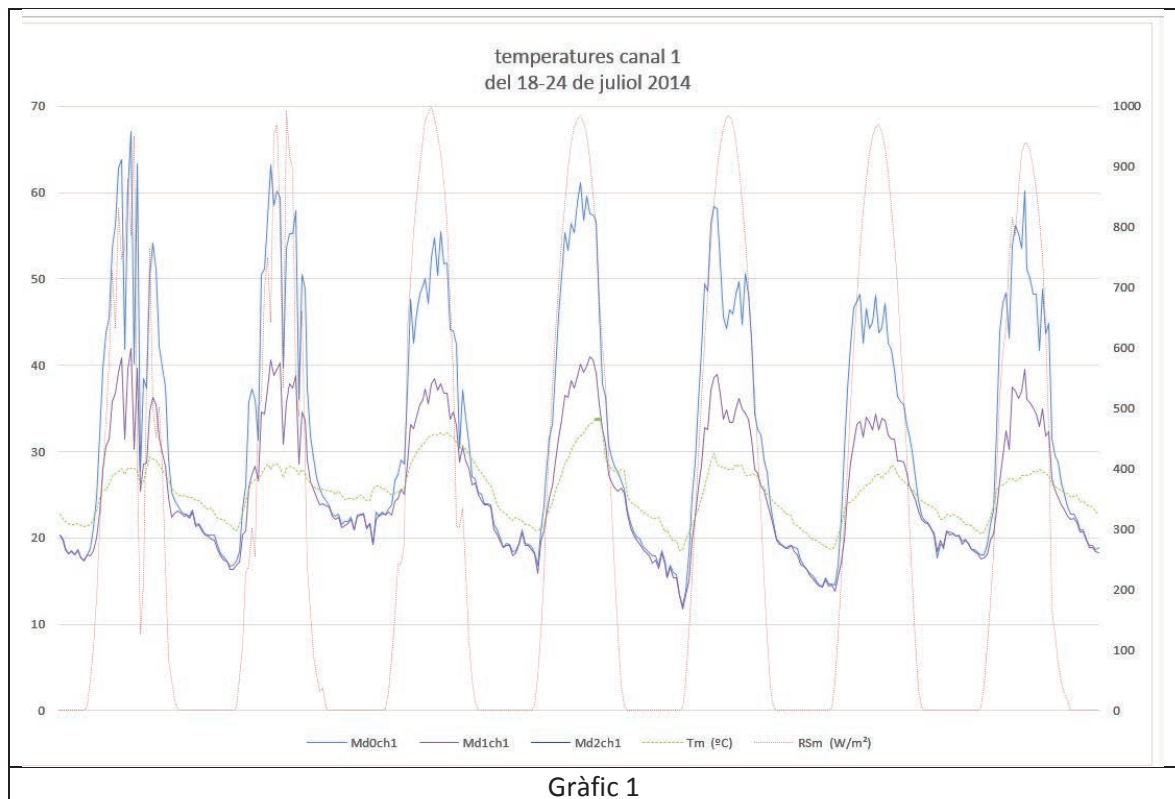
Es percep que l'aparell de clima del Md1 refresca més que els dels Md 2 i 0. El que va pitjor és el del mòdul 2

### PREVISIÓ:

La setmana que ve, Jaume Colom de Flexbrick i José López d'ALGECO, aniran a Tarragona a col·locar una malla de ceràmica sobre el mòdul 0.

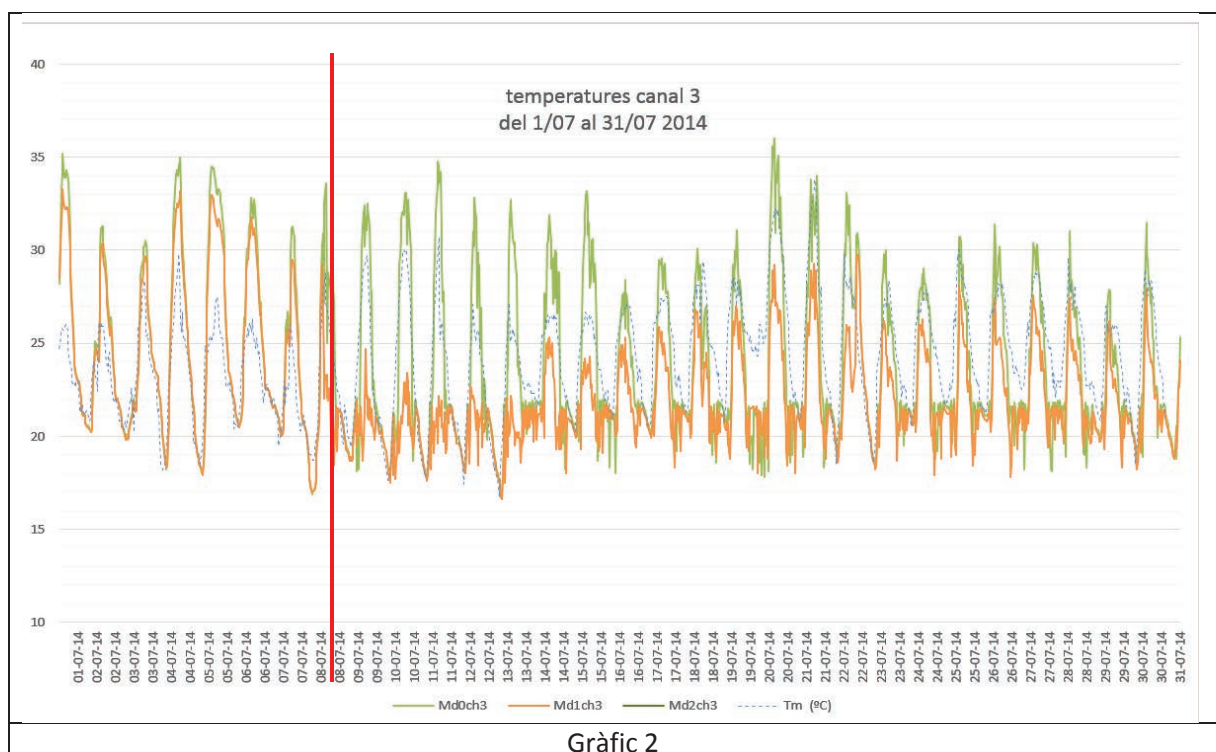
L'aire es mantindrà posat fins que vinguin a col·locar el sostre de flexbrick. Després es tancarà i romandrà en regim lliure fins a la setmana del 25 d'agost.

## IMATGES:



Referent al gràfic 1: Es segueix treballant creuant dades de meteo de l'estació meteorològica Tarragona - Complex Educatiu del Servei Meteorològic de Catalunya.

En aquesta gràfica es pot apreciar les temperatures màximes que arriba a assolir la xapa del Md0, les quals, en alguns cassos passen de 65°C, mentre que les del Md1 (pintat blanc) es queden als 40°C.

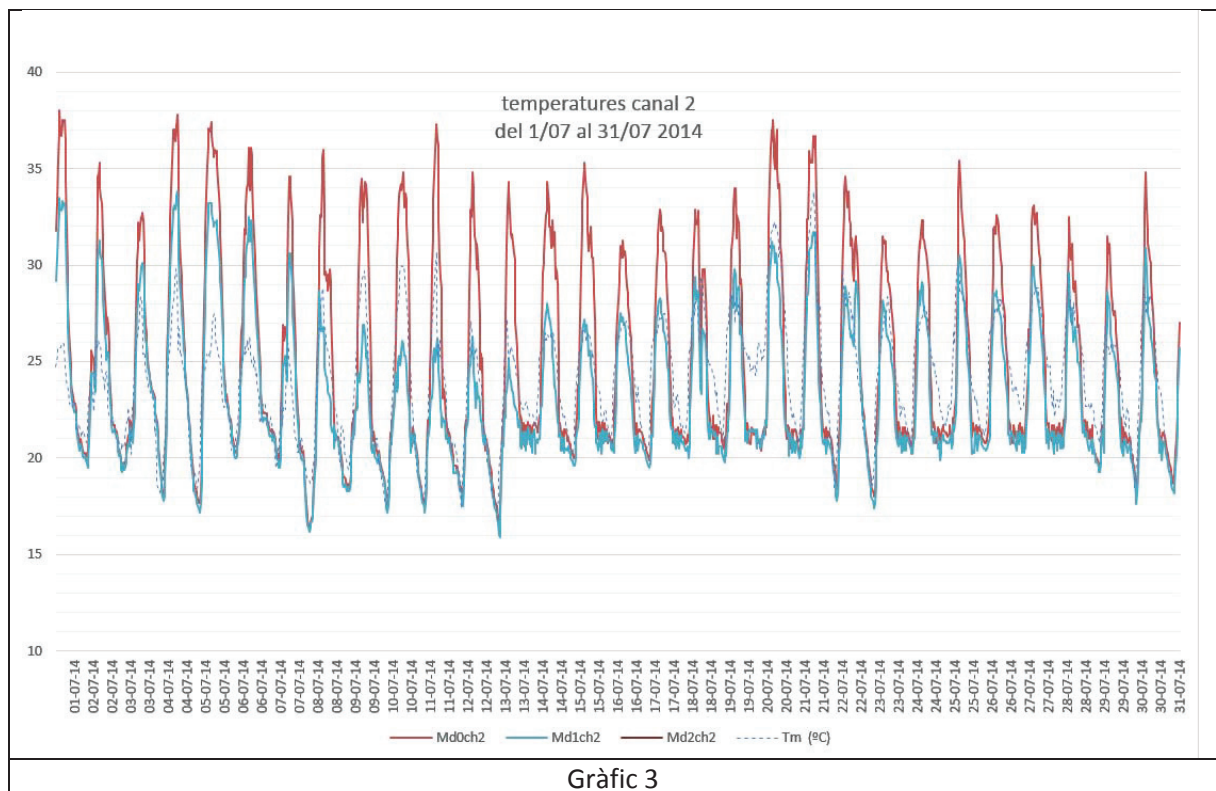




Referent al gràfic 2: En aquest gràfic es mostren les temperatures interiors. Es pot apreciar com el 8 de juliol (línia vermella) es va canviar l'interruptor automàtic i es van engegar les màquines de clima. Les temperatures interiors del Md1 baixen considerablement fins el dia 18-19 de juliol que tornen a ser més altes.

També es veu com les temperatures e el Md0 (corba verda) són molt superiors a l'exterior. Això vol dir, o bé que l'aire no funciona bé o que no té prou potència per aconseguir arribar a temperatures de confort.

En el Md1 (corba taronja), les temperatures interiors es mantenen sempre per sota les temperatures exteriors, però tal i com s'ha dit a partir del 18-19 de juliol hi ha una baixada en l'eficiència de la màquina de fred.



Referent al gràfic 3: Aquest mostra exactament el que s'ha dit per l'anterior.

Podria ser que el funcionament continuat durant tantes hores fes perdre eficiència a les màquines. Es recomanarà de posar un temporitzador amb rellotge per tal de limitar el funcionament només a les hores de més calor.



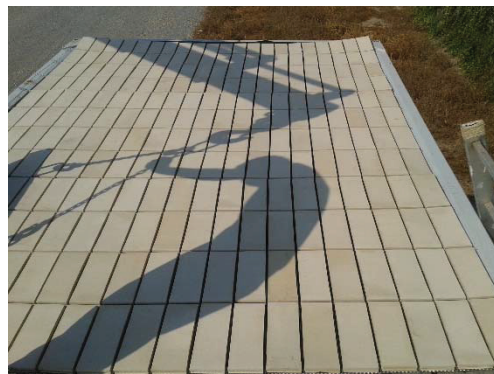
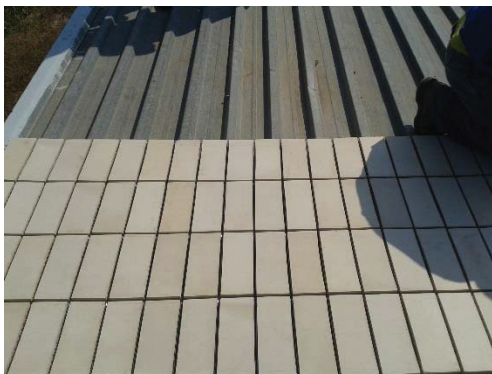
**Data: divendres 29 d'agost de 2014**

**ASSISTENTS:**

UPC: Oriol Muntané

**FEINES FETES:**

Tal i com s'havia previst el dia 6 d'agost es van col·locar sobre el mòdul 0 les membranes ceràmiques de FLEXBRICK



Així doncs el sensor numero 1 del mòdul 0 ha quedat sota la ceràmica.

Com es veu a les fotografies la ceràmica es d'un color clar.

Es revisen i es descarreguen les lectures dels sensors.

Tal i com es va demanar, els aires estaven apagats. Varen ser tancats el dia 6 d'agost quan es van col·locar, sobre el mòdul 0 les superfícies de FLEXBRICK.

Així doncs els tres mòduls van estar amb climatització des de el 31/07 al 06/08. Els comptadors han mesurat:

	31/07	06/08	Diferència
Md 0			24kWh
Md 1			23kWh
Md 2			35kWh

Les lectures dels tres comptadors elèctrics.

data	Mòdul 0.	Mòdul 1.	Mòdul 2.
01/07/14	3926 KWh	6635 KWh	20426 KWh
31/07/14	4053 KWh	6816 KWh	20688 KWh
Consum del 01/07 al 31/07	127 KWh	181 KWh	262 KWh
06/08//14	4077 KWh	6839 KWh	20723 KWh
Consum 31/07 al 06/08	24 KWh	23 KWh	35 KWh

Com és pot veure el consum no correspon al que era d'esperar.

Els aires s'han deixat en posició de fred, amb l'Interruptor diferencial off, i es farà la prova en un període de temps més curt.

Md 0	Md1	Md2
		

### INCIDÈNCIES:

Les sondes estan ben fixades.

Sonda 1: exterior coberta (temperatura superficial). En el Mòdul 2 aquesta sonda ha quedat en la coberta antiga, per tant sota l'aïllament i la nova xapa de la coberta ALGECO millorada. En Mòdul 0 aquesta sonda ha quedat sota la membrana ceràmica de FLEXBRICK

Sonda 2 : interior coberta, sostre (temp. Superficial)

Sonda 3: interior aire. (temp. interior mòdul)

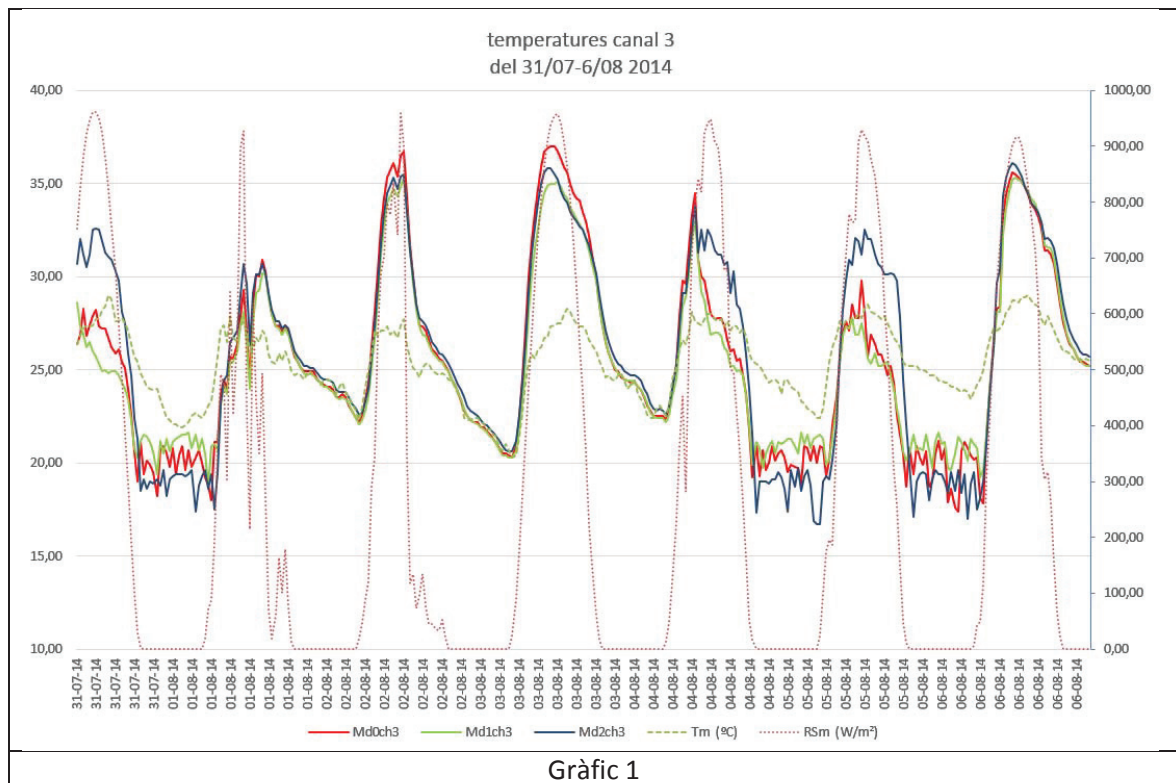
Els consums no són els esperats.

Es percep que l'aparell de clima del Md1 refresca més que els dels Md 2 i 0. El que va pitjor és el del mòdul 2

### PREVISIÓ:

Els aires s'han deixat en posició de fred, amb l'Interruptor diferencial off, i es farà la prova en un període de temps més curt. Es demanarà a en Toni o en Xavi que deixin l'aire encès durant una jornada laboral, aprox. 8 hores.

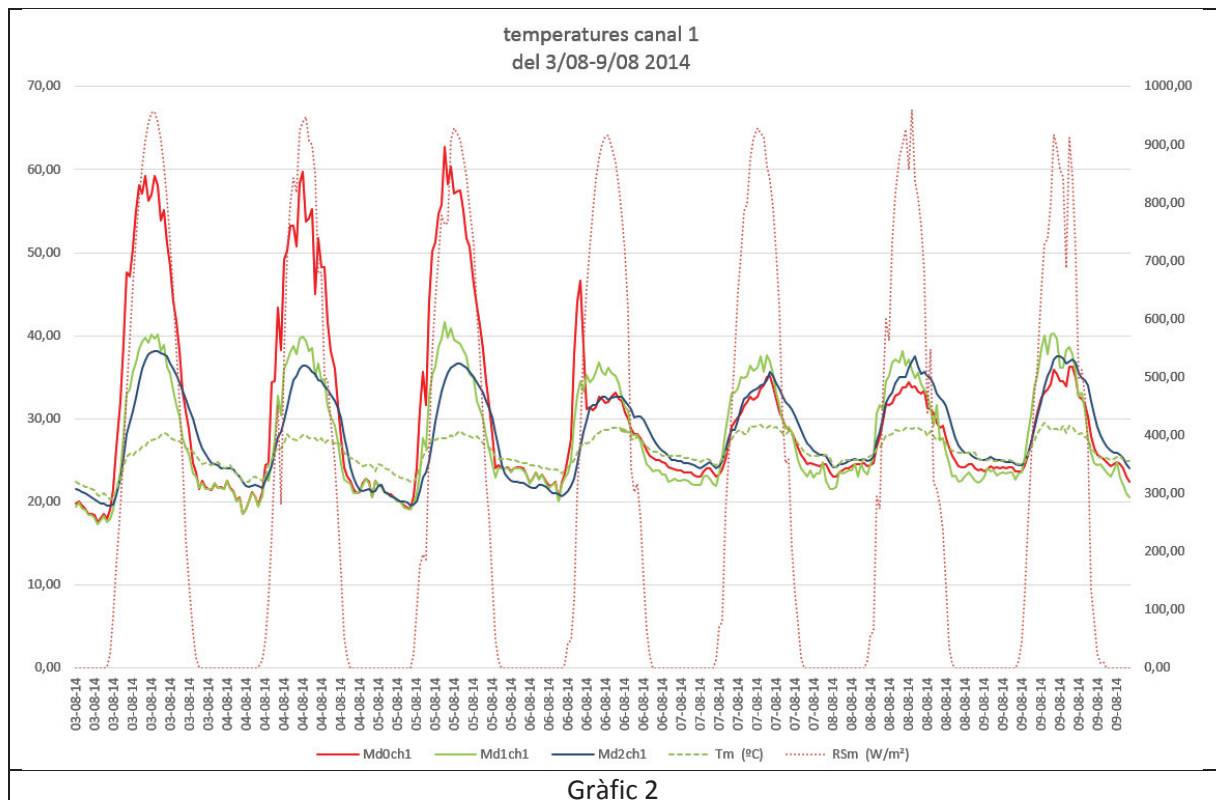
## IMATGES:



Gràfic 1: Període previ a la col·locació de les membrana ceràmica. Els mòduls estaven amb la climatització posada.

El primer que sorprèn és la inconstància del funcionament. En el gràfic es veu com les temperatures de les nits del 1, 4 i 5 són molt inferiors a les de les nits del 2 i 3. O sigui, durant un parell de nits l'aire no va funcionar.

També es veu que les temperatures interiors són molt variables, i que les del mòdul 2 són molt inferiors.

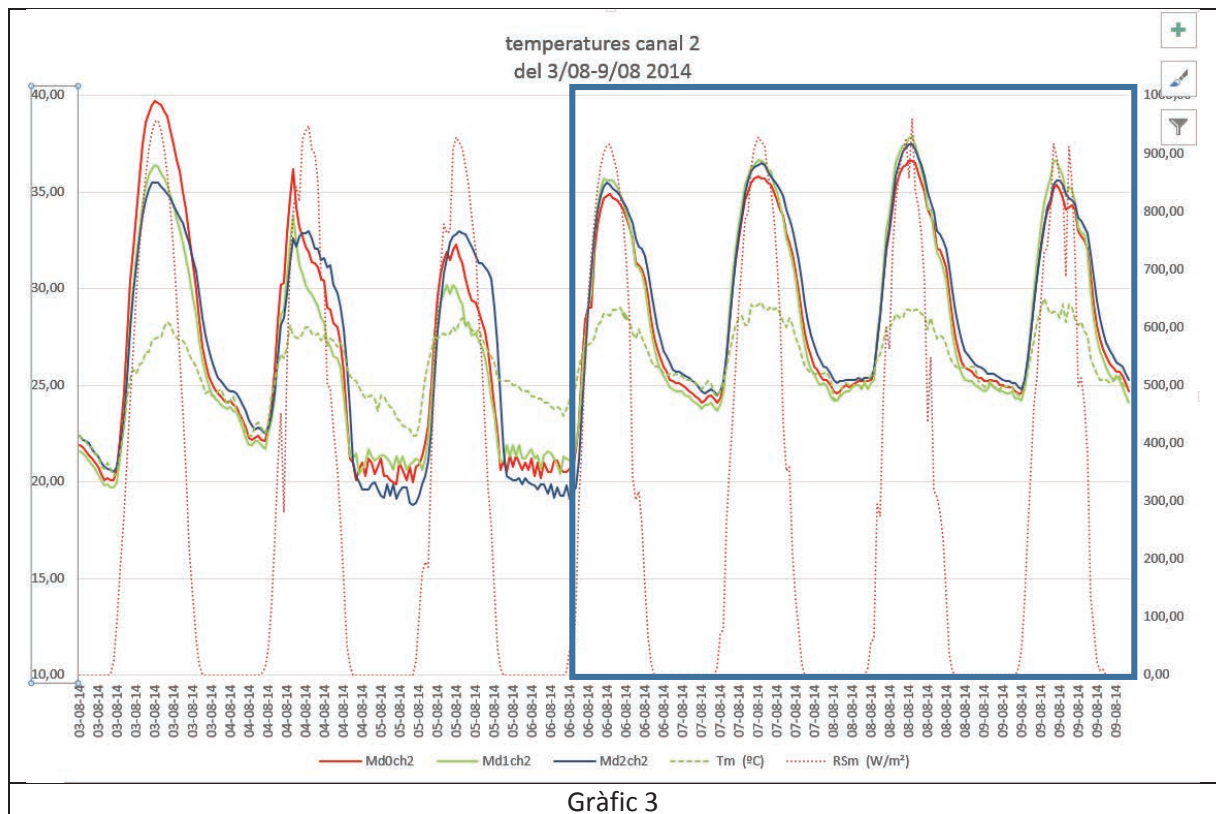


Gràfic 2: Sonda superior de coberta. La gràfica representa molt bé el moment en que es col·loca la membrana ceràmica FLEXBRICK (dia 6 d'agost) i el resultat que té. La temperatura superficial del mòdul 1 passa de ser la més elevada (valors propers als 60°C) a ser la més baixa (valors al voltant dels 35°C).

Durant les hores nocturnes es manté una mica més alta que la del mòdul 1 (coberta blanca), per que, lògicament li costa més dissipar la calor. De totes maneres es manté per sota la coberta amb l'aïllament addicional.

Entre els mòduls 1 i 2 (blanc i coberta amb aïllament addicional, respectivament), la temperatura de la sonda 1 es superior al mòdul 1 que al 2. Es recorda però que el del mòdul 2 ha quedat sota l'aïllament tèrmic.

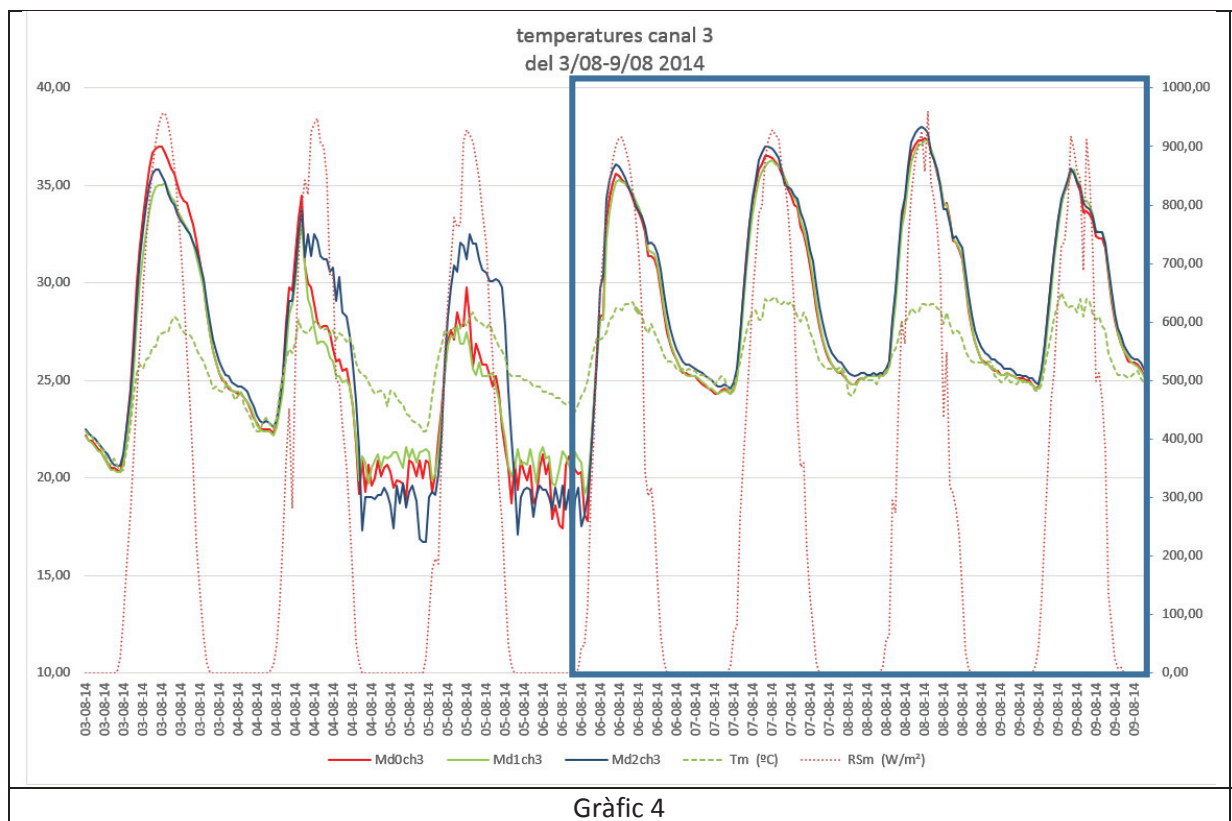




Gràfic 3

Gràfic 3: Referent al tram emmarcat: Aquest gràfic matisa el que es comentava de l'anterior. Com es pot veure, al pic del dia, els valors superficials de temperatura a la cara interior del sostre són pràcticament iguals en les mòduls 1 i 2 i, passat el dia 6, inferiors en el mòdul 0. (ja tenia el recobriments ceràmic de FLEXBRICK).

Cal recordar que previ al dia 6 hi havia l'aire condicionat engegat.



Gràfic 4: Referent al tram emmarcat: Aquest constata el que s'acaba de dir per l'anterior. La temperatura a l'interior dels mòduls es manté semblant en els tres cassos (passat el dia 6 d'agost). Entre les diferents solucions hi ha diferències màximes de 1,5°C, essent el mòdul 1 el que es manté més fresc i el 3 el més calent. Cal remarcar que la velocitat per a refredar-se, es pràcticament igual en el cas 0 i 1. I que assoleixen temperatures pràcticament iguals.



**Data: divendres 29 d'agost de 2014**

**ASSISTENTS:**

UPC: Oriol Muntané

**FEINES FETES:**

Es fan les lectures dels comptadors elèctrics.

Es recullen les dades dels datalogers. Totes les sondes estan ben posades.

Es verifiquen les noves màquines de fred, i es deixen totes posades en la mateixa posició. (o almenys s'intenta). Tal i com es pot veure a les fotografies, les comandaments de les màquines no estan en gaire bon estat

Màquina Mòdul 0



Màquina Mòdul 1



Màquina Mòdul 2



El magnetotèrmic no aguanta tots tres aires engegats a la vegada. Si es vol un control de consum energètic caldria canviar-lo.

Es revisen els consums que indiquen cada un dels comptadors. Curiosament en el comptador del mòdul 2 hi ha hagut 4kwh de consum.

	06/08	24/10
Md 0		
Md 1		
Md 2		

Els aires s'han deixat apagats, amb el diferencial de la caseta en posició OFF.

#### INCIDÈNCIES:

Sonda 1: exterior coberta (temperatura superficial). En el Mòdul 2 aquesta sonda ha quedat en la coberta antiga, per tant sota l'aïllament i la nova xapa de la coberta ALGECO millorada. En Mòdul 0 aquesta sonda ha quedat sota la membrana ceràmica de FLEXBRICK

Sonda 2 : interior coberta, sostre (temp. Superficial)

Sonda 3: interior aire. (temp. interior mòdul)

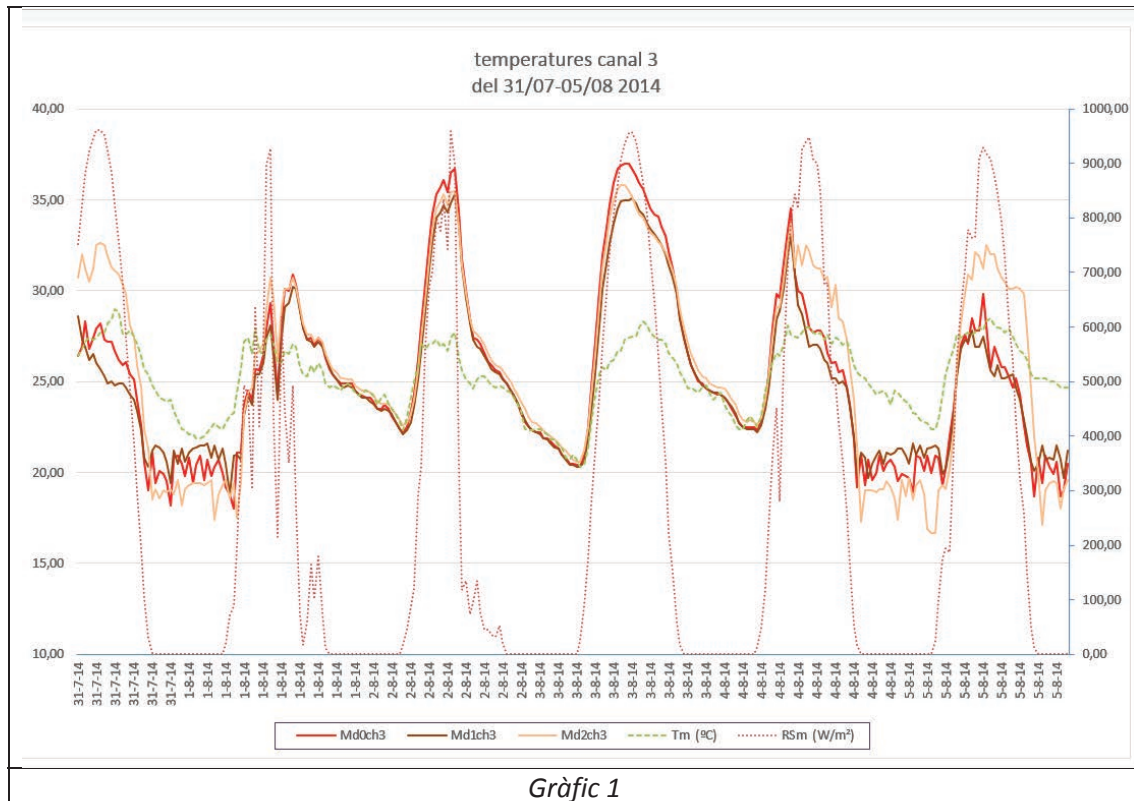
Caldria substituir el magnetotermic per poder tenir dades fiables de consum

#### PREVISIÓ:

Els aires s'han deixat en posició de fred, amb l'Interruptor diferencial off, i es farà la prova en un període de temps més curt. Es demanarà a en Toni que m'avisí de quin dia canvia el diferencial. Caldria aprofitar aquets últims dies de calor del més d'octubre

## IMATGES:

Les gràfiques que s'adjunten a continuació són de finals de juliol inici agost. Aquests dies són els únics en que els tres mòduls han tingut climatització funcionant de forma continuada. Com es pot apreciar a les gràfiques, sembla que l'aire hagi funcionat els dies 31/07 i 1/08, ha estat parat 2 dies (2 i 3 /08) i tornés a funcionar els dies 4 i 5 /08.



Els dies que ha funcionat l'aire, la temperatura interior és més inestable, tan sigui durant el dia com durant la nit.

Sí que es pot apreciar, que durant el dia la temperatura interior dels mòduls (canal 3) és lleugerament més alta que la exterior. En canvi durant la nit, la temperatura baixa considerablement més que la temperatura exterior.

És curiós que durant les hores de sol, quan hi ha la màquina de clima funcionant, el mòdul 3 (amb la coberta millorada ALGECO) és la que assoleix la temperatura més alta (veure dies 31/07 i 4-5/08). Durant la nit, en canvi, és el que assoleix les temperatures més baixes. A més a més és el que triga més temps a refredar-se. Això segurament és degut a la dificultat per alliberar calor. (recordo que és el mòdul que major era la seva despesa energètica).

na altre explicació seria que la calor acumulada a l'interior deguda a la radiació directa a través de la finestra, sigui un valor molt més alt que la calor provinent per transmissió de la coberta. Com que tots tenen una obertura, aquell a qui més costarà alliberar calor, serà aquell mòdul més ben aïllat, o sigui el 2.

Aquest hipòtesi és fàcilment comprovable servint-se del càlcul de la càrrega tèrmica utilitzant les taules editades per Carrier.

La taula adjunt es calcula la càrrega tèrmica que guanya el mòdul per coberta i la que guanya per la finestra. Per coberta es calcula en les dues casuístiques, amb la solució ALGECO (doblant aïllament) i la solució simple. (amb aïllament simple).

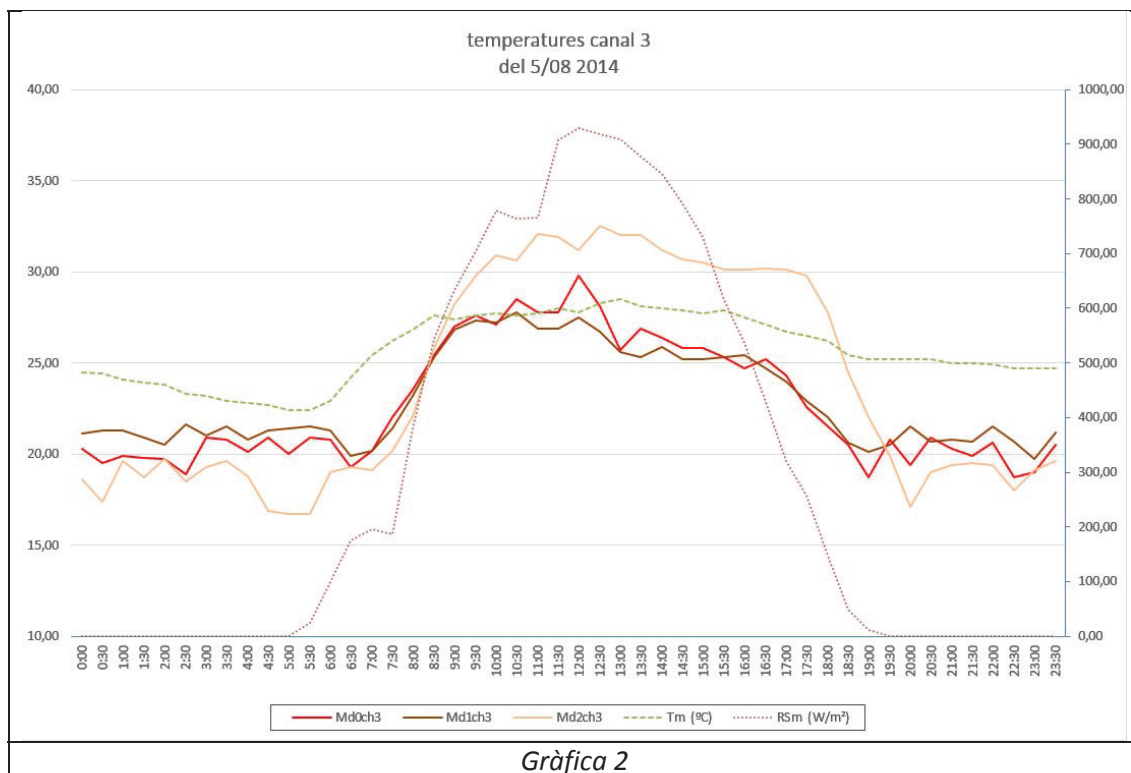
	superfície	Kcal/h	U	Q
Coberta Md2 Aïllament llana de roca densitat 40kg/m3 i $\lambda=0,03$	15 m2	$Q=U \times S \times dte$	0,20x15x25,6 e=8+8cm	76,80 Kcal/h
Coberta Md0-1 Aïllament llana de roca densitat 40kg/m3 i $\lambda=0,03$	15 m2	$Q=U \times S \times dte$	0,344x15x25,6 e=8cm	132,09 Kcal/h
Finestra Alumini sense rpt i vidre simple	1,50 m2	$Q=S \times R \times f$	1,5x276x1	414,00 Kcal/h

On:

- Q= guanys a través de l'element
- dte= diferencia temp equivalent, el qual té en compte la massa de l'element ( dte=25,6 a les 17h solar)
- U= transmitància
- S= superfície
- R= radiació solar que passa a través d'un vidre senzill en kcal/h·m2. A inicis d'Agost és= 276 a les 12h solars.
- f= les percentatge de reducció de R segons les proteccions. Com que no tenim proteccions és 1.

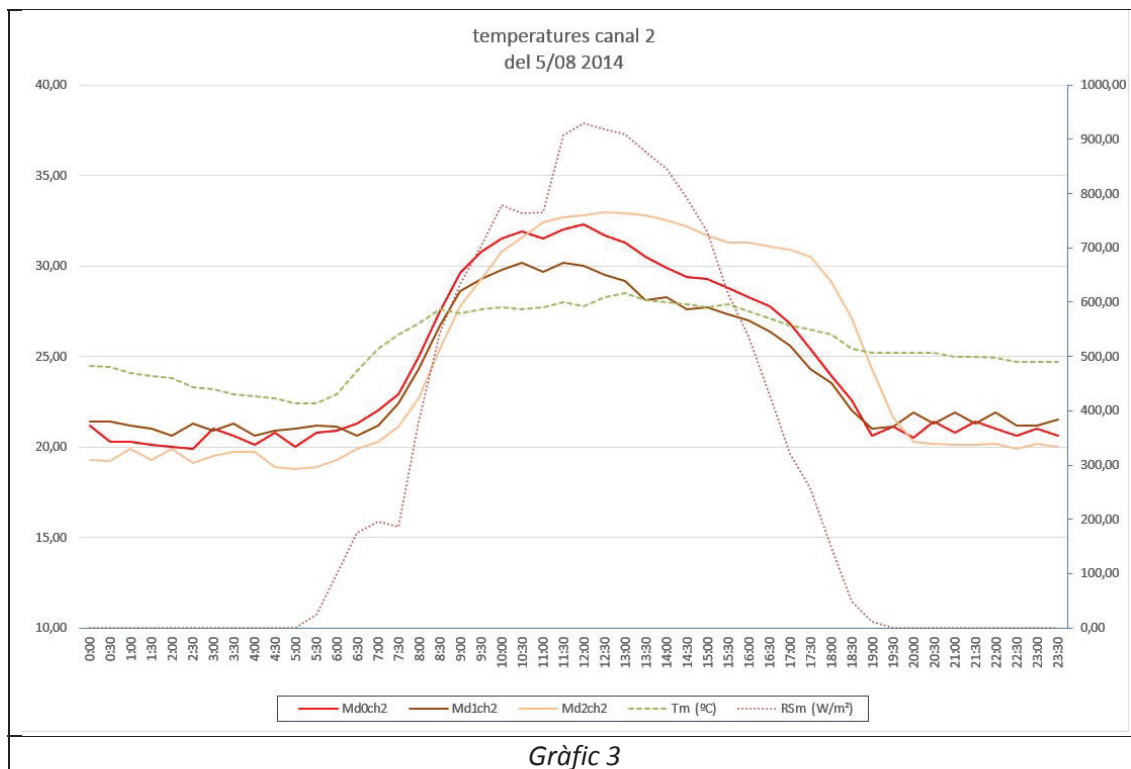
O sigui, l'energia captada a través del vidre és molt superior a la captada per la coberta. Fins i tot la diferència entre l'energia que entra per la coberta amb més aïllament i la que entra per la finestra, no te res a veure

Aquests efectes es veuen més clarament quan la gràfica representa només a un sol dia. Veure Gràfica 2



En aquesta gràfica queden reflexades les possibilitats que s'apunten més amunt.

De totes maneres és curiós la poca diferència que hi ha entre les temperatures dels mòduls 0 i 1.



El que passa amb la sonda 2 (cara inferior del sostre) es bastant similar a la sonda 3, però amb unes corbes més suaus. Realment sembla que té molta més influència la radiació solar (l'increment de temperatura es dona a tots tres mòduls de forma molt similar), però el mòdul 2 li costa més refredar-se, i en canvi el mòdul 0 (coberta galvanitzat) i 1 (pintat REVETON) tenen un comportament similar, però el mòdul 1 sempre és més favorable (temperatures més baixes).

A modus de recordatori adjunto els consums que es van comptabilitzar durant el període que compren el dia/es estudiats:

data	Mòdul 0.	Mòdul 1.	Mòdul 2.
31/07/14	4053 KWh	6816 KWh	20688 KWh
06/08//14	4077 KWh	6839 KWh	20723 KWh
Consum 31/07 al 06/08	24 KWh	23 KWh	35 KWh

El que s'ha apuntat fins ara seria coherent amb els consums que hi ha hagut. (!!!)

Segurament si la finestra tingués una protecció solar, aquests valors serien força diferents.

No cal oblidar però que a l'interior dels mòduls no hi ha ningú. Si hi haguessin persones, hauríem de comptabilitzar la càrrega interna, la calor aportada per les persones. A mode d'exemple 5 persones, assegudes, aporten entre 90-100 kcal/h per persona. O sigui entre 450-500 Kcal/h. Aquest valor és similar a l'aportació per la radiació solar directe a través del vidre de la finestra.

Per tant, i en el supòsit que les hipòtesis proposades fossin certes, sembla que la solució que més consum genera en èpoques de calor, és la coberta amb un increment d'aïllament. Cal però prendre aquesta hipòtesi amb precaució i haurà de ser verificada amb més dades.



**Data: dilluns, 12 de gener i dimarts 13 de gener de 2015**

**ASSISTENTS:**

UPC: Oriol Muntané




**FEINES FETES:**

Es recullen les dades dels datalogers. Totes les sondes estan ben posades.

Es fa un aixecament del mòdul base per poder-ne fer una simulació informàticament.

S'accedeix a les cobertes per a fotografiar en quin grau han anat envellint els tes materials:

- Mòdul 0: ceràmica blanca FLEXBRICK
- Mòdul 1: pintura blanca REVETOM
- Mòdul 2: solució millorada ALGECO.

	<p>Mòdul 0: ceràmica blanca FLEXBRICK.</p> <p>Tal i com es veu a la fotografia, l'aspecte de les peces és pràcticament igual que el dia que es van col·locar. No han sofert envelliment aparent i la tonalitat sembla la mateixa (segurament s'han enfosquit una mica)</p>
	<p>Mòdul 1: pintura blanca REVETON.</p> <p>La pintura està en bon estat, però en canvi, és molt notori la pols i brutícia que s'hi ha dipositat. En els punts on la pendent no és perfectament constant i queda acumulada aigua, amb restes de pols que ha arrossegat fins aquell punt.</p>
	<p>Mòdul 2: solució millorada ALGECO.</p> <p>En aquest cas, la placa quan es va posar ja no era nova, ni acabada de pintar. El que sí es detecta que la pendent addicional que té aquesta coberta, ajuda a la no acumulació de pols i brutícia</p>

Els aires s'han deixat apagats, amb el diferencial de la caseta en posició OFF. Aquest aires no tenen



### INCIDÈNCIES:

Els aires que es van posar nous, no tenen la possibilitat de fer calor. Seria molt interessant, poder comparar els consums en l'època freda, Així es podria comparar, si les estratègies emprades per evitar l'entrada de calor, son o no, perjudicials per els mesos mes freds.

### PREVISIÓ:

Per acabar la investigació caldria tenir durant un període de temps (2-3 dies com a mínim), els tres mòduls amb calefacció.

En data 13/01/2015, en Xavi (manteniment Algeco), deixa col·locats tres calefactores, un en cada mòdul, a potència mitja.

Les lectures dels comptadors elèctrics són:

			
13/01/15	4078	6839	20727
24/10/14	4077	6839	20727

Tal i com es veu en les imatges, des de l'últim cop que es van utilitzar els comptadors no hi ha hagut consum.

## IMATGES:

	<p>FOTO 1_Mòdul 0: La col·locació de les membranes de FELXBRICK, s'ajusten molt bé a la dimensió del mòdul. Tal i com es veu a la fotografia 2, seria interessant suprimir les peces dels quatre vèrtex, per evitar que quedi aixecada. A més a més, permetria accedir a la boca del baixant i poder-ne fer el manteniment.</p>
	<p>FOTO 2</p>
	<p>FOTO 3_ Caldria retallar els sobrants de filferro que queden en un dels costat, i deixar només aquells estrictament necessaris per a poder moure les membranes.</p>

**Data: dilluns, 19 de gener de 2015**


**ASSISTENTS:**

UPC: Oriol Muntané

**FEINES FETES:**

Es recullen les dades dels datalogers. Totes les sondes estan ben posades, es revisen les alçades i distàncies de la sonda 3 respecte el terra i les parets.

Tal i com s'indica a la taula següent, es mantenen força bé les posicions originals (h= 160 i distància a façana sud 115cm)




		
Alçada respecte el terra:	Mòdul 0: 163 cm	
	Mòdul 1: 162 cm	
	Mòdul 2: 160 cm	
Distància respecte façana sud: (del metro a la esquerra)	Mòdul 0: 117 cm	
	Mòdul 1: 114 cm	
	Mòdul 2: 106 cm	

Es verifica la instal·lació d'un panell radiant (calefactor, de la casa S&P) en cada mòdul. Es revisa que la regulació dels tres panells sigui igual en tots tres mòduls

	
Md 0: posició MAX	
Md 1: posició MAX	
Md 2: posició en 7 (és la més alta però no és la MAX)	

Tot i que la posició 7 és la més alta, hi ha un grau més el MAX.

Es prenen les dades dels comptadors elèctrics.

			
13/01/15	4078	6839	20727
19/01/15	4201	6968	20820
consum	123 KWh	129 KWh	93 KWh

#### INCIDÈNCIES:

Es decideix aprofitar aquest dies que han previst fred i núvol, per mantenir uns dies més les calefaccions engegades. Així quedarà clar que el consum inferior del Md2 és degut la solució constructiva i no a la diferent posició del termòstat del calefactor.

#### PREVISIÓ:

Es preveu 2-3 dies més amb els mòduls tal i com estan. A finals de setmana es demanarà a en Xavi que apagui les calefaccions.

La propera visita es poden desmuntar les sondes i dataloggers. Caldrà que hi hagi algú d'ALGECO per retirar la sonda 1.

Si algú d'ALGECO, REVETON o FLEXBRICK, vol fer alguna comprovació addicional, i prèvia conformitat d'ALGECO, per a mi no hi ha inconvenient.

Per altre costat si FLEXBRICK vol retirar el material subministrat, haurien de comunicar i concretar un dia i hora amb Josep López d'ALGEGO o aquella persona per ell designada.

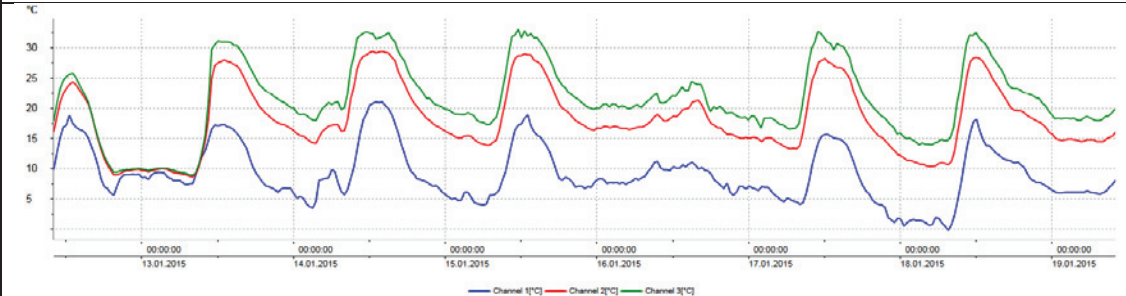
## IMATGES:

Md0:

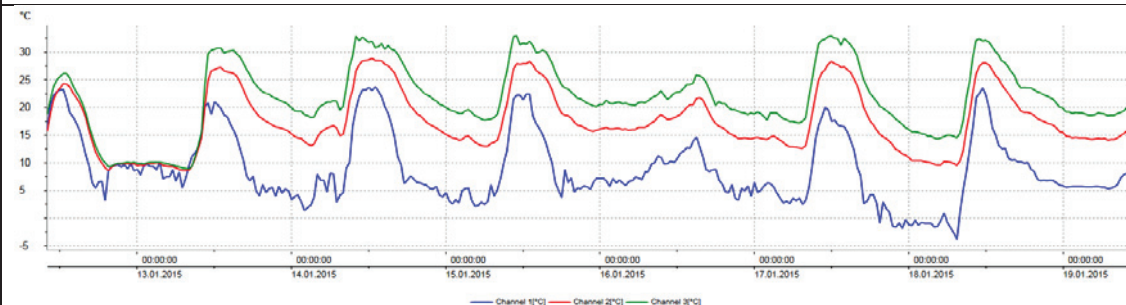
blau ch 1 (cara exterior sostre)

vermell ch 2 (cara interior sostre)

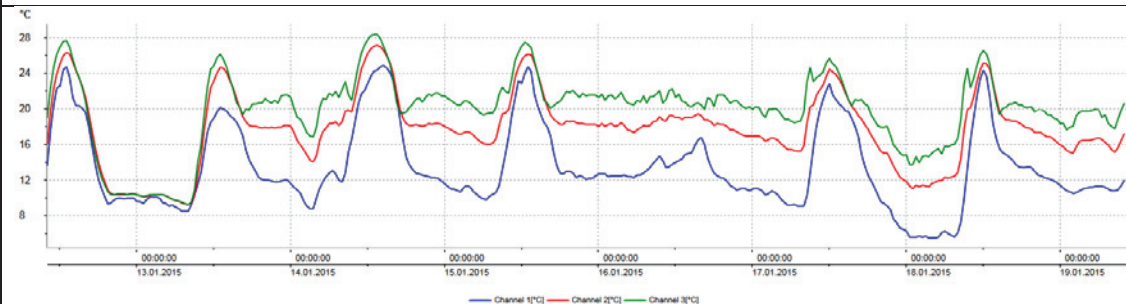
verd ch 3 (ambient interior)



Md 1



Md 2

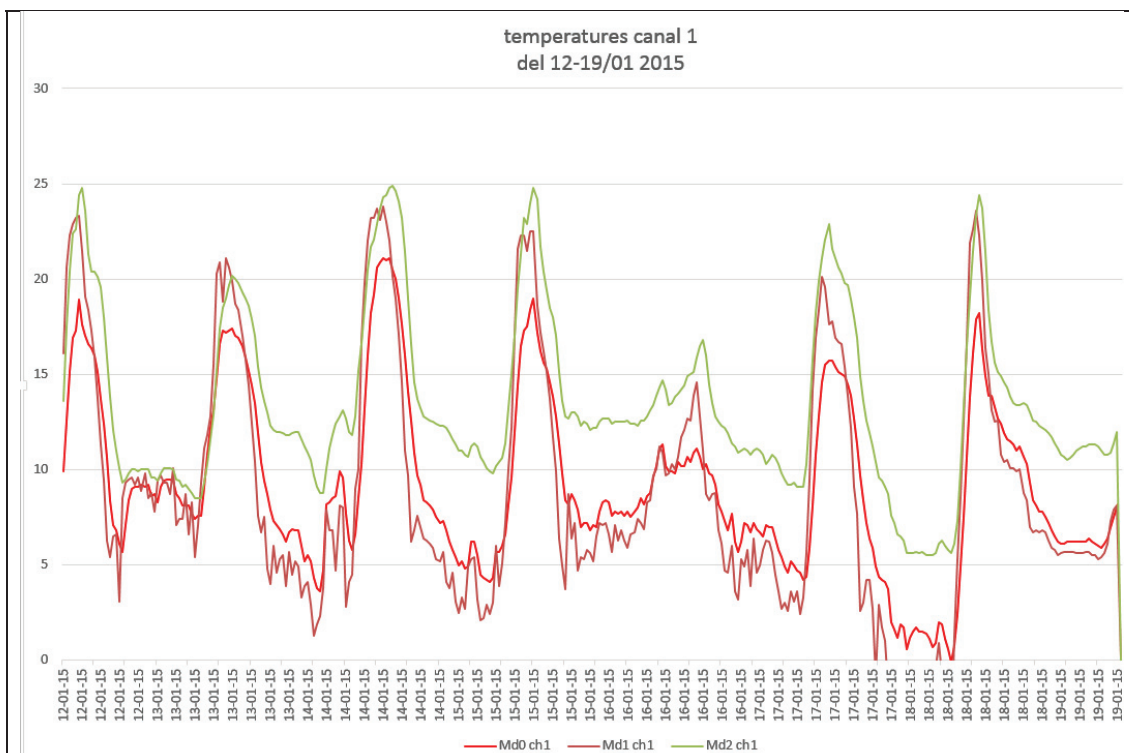


Si es comparen les tres gràfiques, es pot veure, que la gràfica verda i vermella dels mòduls 0 i 1, són molt semblants. En canvi la gràfica blava del Md1, les màximes són lleugerament més altes que les dels Md0.

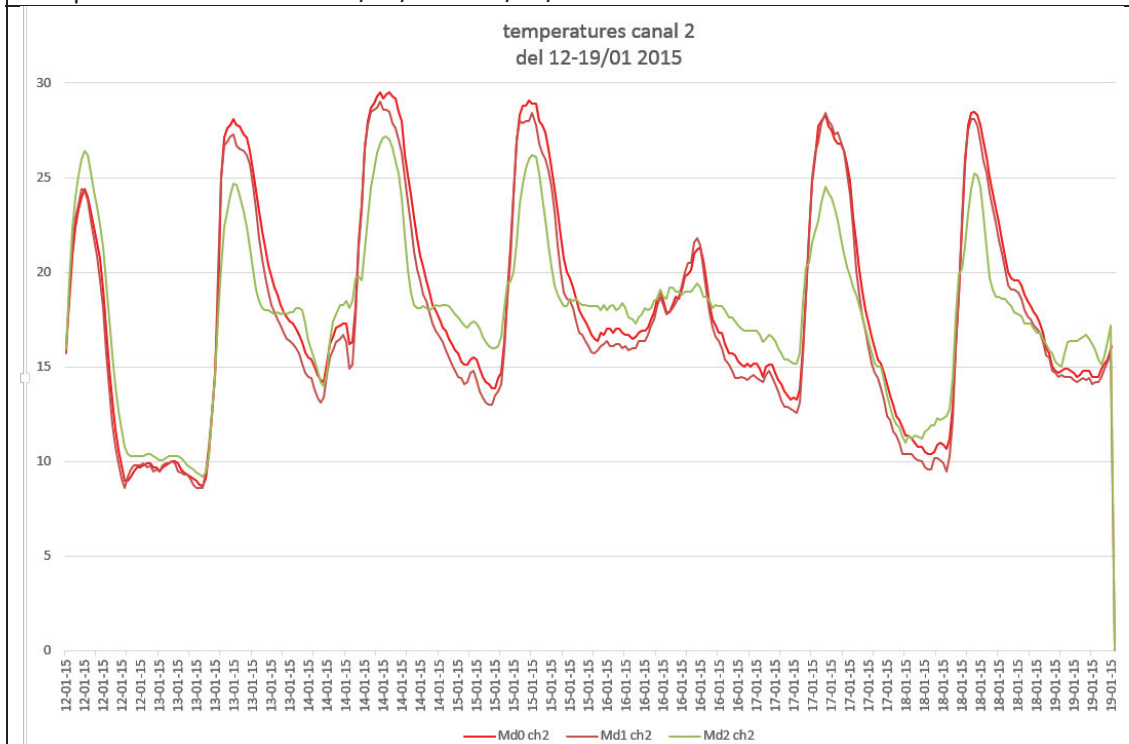
La gràfica blava del Md2, les màximes, són les més altes dels tres casos.

A continuació s'adjunten les gràfiques dels tres canals, per comparar quines variacions hi ha entre cada mòdul.

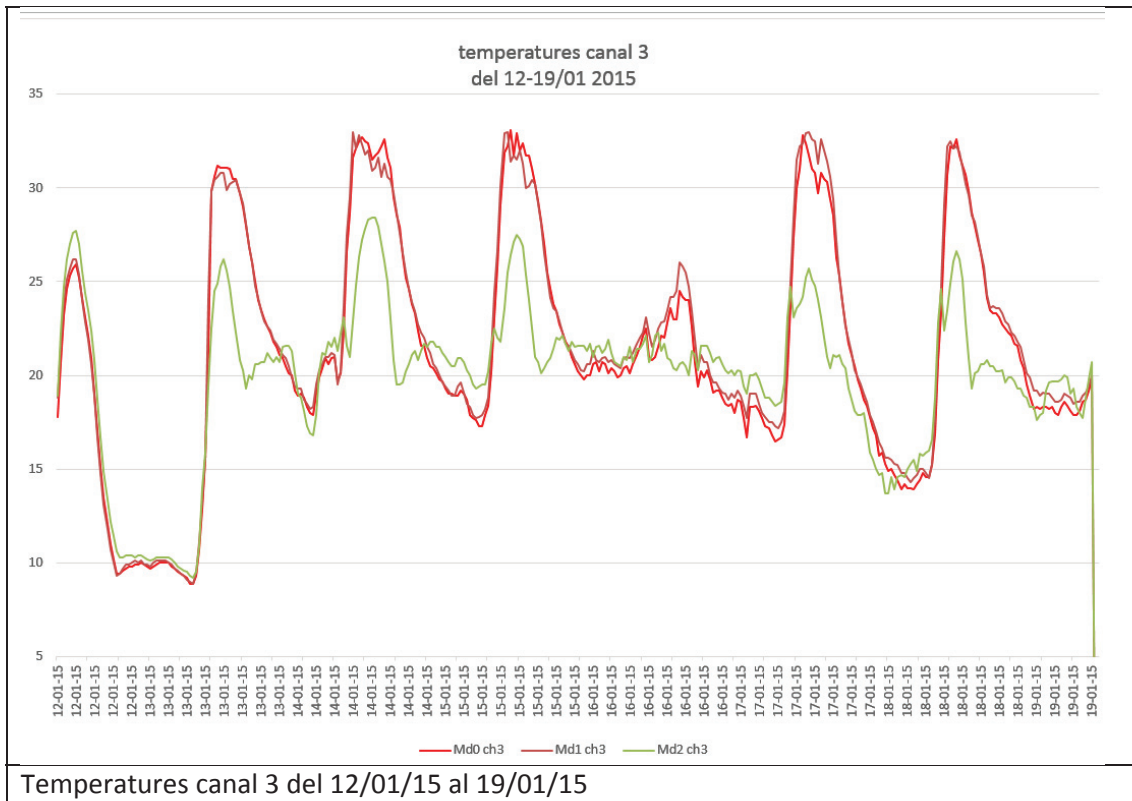




Temperatures canal 1 del 12/01/15 al 19/01/15



Temperatures canal 2 del 12/01/15 al 19/01/15



Temperatures canal 3 del 12/01/15 al 19/01/15



**Data: dilluns, 9 de febrer de 2015**

**ASSISTENTS:**

UPC: Oriol Muntané

**FEINES FETES:**

Aquesta és la última visita a Tarragona. Quan he arribat ja estaven tots els datalogers retirats, sondes desmuntades i comptadors desendollats.

Posteriorment s'han descarregat les dades dels datalogers i els consums elèctrics.

Es prenen les dades dels comptadors elèctrics.

Fotos del 09/2/15			
19/1/15	4201	6968	20820
09/2/15	4703	7466	21264
consum	502KWh	498KWh	444KWh

Tal i com s'entreveia a l'última acta, el mòdul que menys consum ha tingut ha estat el 2. Això és degut a un superior aïllament de la coberta. La diferència entre el Md 0 i 1, no és substancial però és curiós que el Md 0 (revestit ceràmic de FLEXBRICK) hagi estat superior. Curiosament en l'última presa de dades el consum del Md1 havia estat superior que el del Md0 (123 i 129 respectivament)

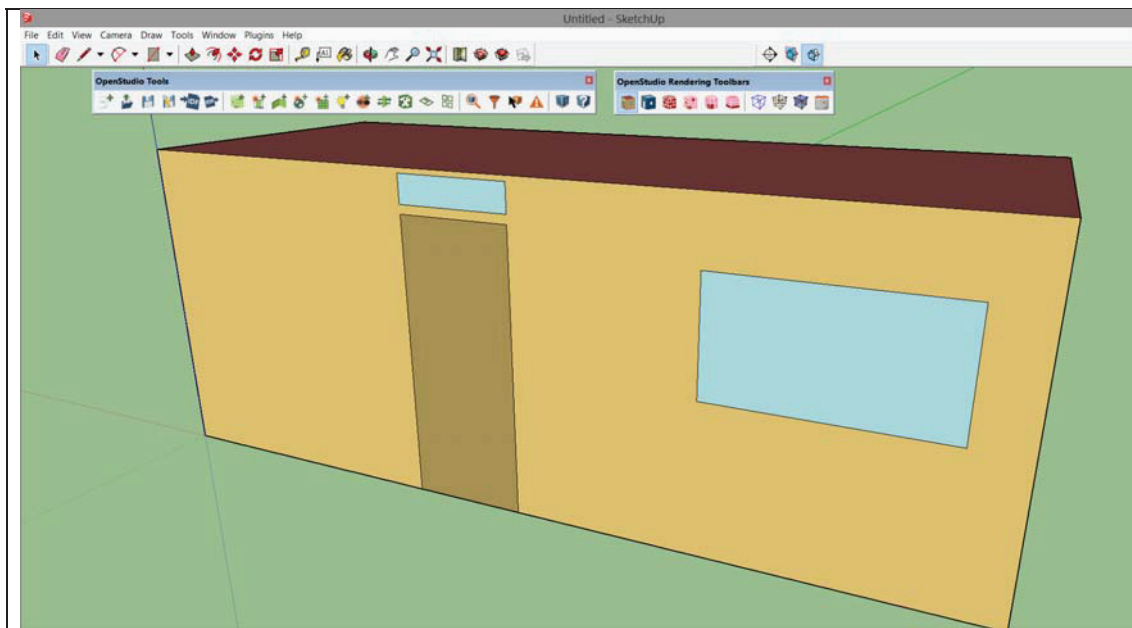
**INCIDÈNCIES:**

S'han lliurat les claus a la garita de l'entrada i quan han anat a recollir-les ningú en sabia res!!!

**PREVISIÓ:**

Per altre costat si FLEXBRICK vol retirar el material subministrat, haurien de comunicar i concretar un dia i hora amb Josep López d'ALGEGO o aquella persona per ell designada.

S'està realitzant un model numèric amb el programes sketchup i la "interface" Openstudio amb el motor de càlcul de Energy plus (desenvolupat per el Departament d'energia dels estats units). Tots els resultats obtinguts en aquest estudi serviran per afinar graus d'estanquitat del model i posteriorment simular nous acabats de coberta.



Mòdul ALGECO dibuixat amb SketchUp en el qual s'han començat a entrar les dades obtingudes en l'estudi realitzat

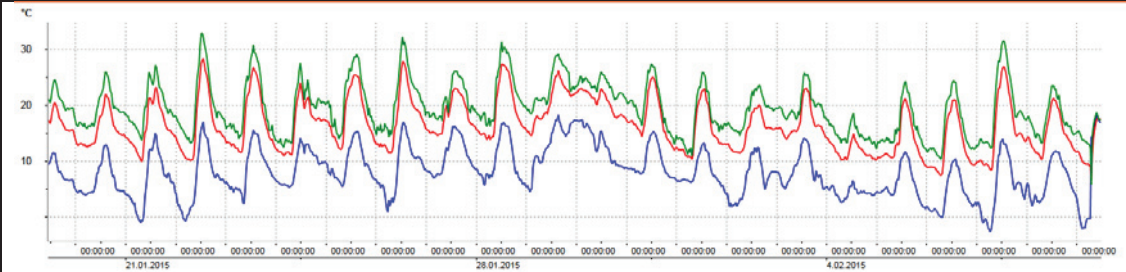
## IMATGES:

Md0:

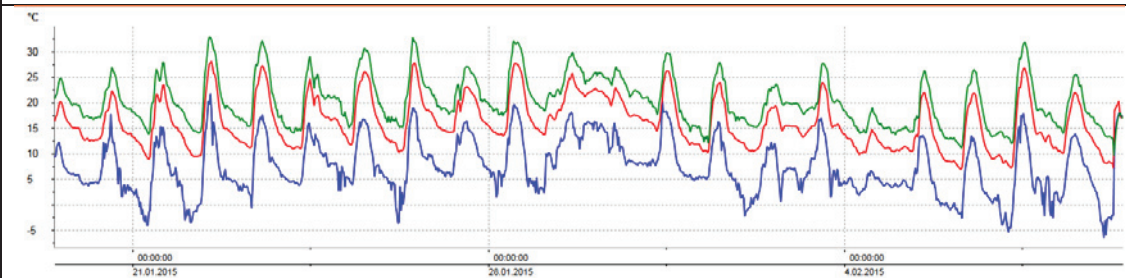
blau ch 1 (cara exterior sostre)

vermell ch 2 (cara interior sostre)

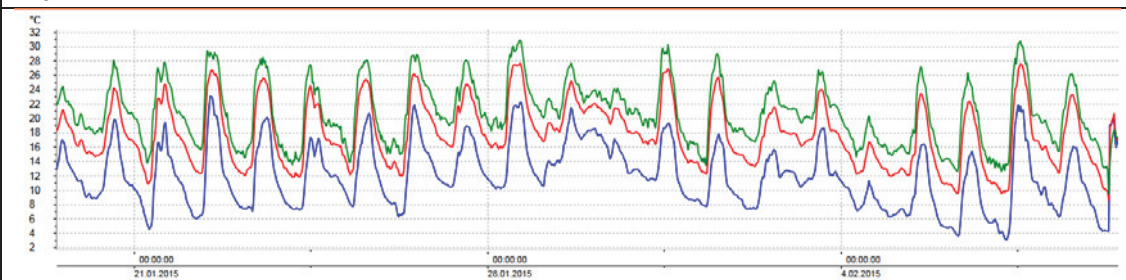
verd ch 3 (ambient interior)



Md 1



Md 2



Si es comparen les tres gràfiques, es pot veure, que la gràfica verda i vermella dels mòduls 0 i 1, són molt semblants. En canvi la gràfica blava del Md1, les màximes són lleugerament més altes que les dels Md0.

La gràfica blava del Md2, les màximes, són les més altes dels tres casos.

Pròximament enviaré gràfiques amb comparació de sondes entre els diferents mòduls.

Barcelona, 9 de febrer de 2015



## **ANNEX 7: FUTURES LÍNIES D'INVESTIGACIÓ. TFM CRISTIAN**



# influencias de vidrios **RECICLADOS** amorfos en cubiertas planas.

**Autor: Cristian Luciano**  
**arqcristianluciano@gmail.com**  
**Director: Joan Lluís Zamora i Mestre**  
**Co-director: Oriol Muntané**  
**oriolmuntane@poma.cat**



# Influencias de vidrios reciclados amorfos en cubiertas planas.



Cristian José Luciano Sarkis

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:  
Master Universitario en Tecnología en la Arquitectura.

Director:

Joan Lluís Zamora i Mestre

Codirector:

Oriol Muntané

Línea de Investigación:

Construcción Arquitectónica - Innovación Tecnológica



*A mi familia,*

*Hoy no estaría donde estoy, sin el apoyo, la fuerza y la confianza que ustedes depositaron en mí. Este es solo un paso más de muchos que alcanzaremos juntos. Este logro también es de ustedes*

## **Agradecimientos**

A mi asesor, el profesor Oriol Muntané, por ser la mano que me ha guiado durante este camino final de esta etapa, por siempre estar presente dándome sus orientaciones cada vez que la necesite y por aportarme gran parte de sus conocimientos para poder elaborar este trabajo con el más alto nivel posible. Gracias, este resultado también se debe a usted.

Al profesor Joan Lluís Zamora i Mestre, que a pesar de su gran carga de trabajo, siempre estuvo a disposición de colaborar con mi investigación.

## Resumen

Esta investigación tiene como objetivo determinar cómo influye el uso de reciclados de vidrios amorfos en la transmisión de calor a la última capa del acabado de la cubierta, dando en consecuencia una posible mejora en el confort climático en las zonas que se ven directamente afectadas por la radiación solar y la transmisión de calor a través de las cubiertas, y obteniéndose como efecto adyacente una reducción del efecto invernadero.

Como material principal de la investigación, se ha elegido el vidrio, proveniente de reciclados, ya que si el alcance de esta investigación llega hasta la influencia en la reducción del efecto invernadero, priorizamos la utilización de elementos reciclados, para no contradecir en ningún sentido los objetivos.

Partiendo desde el punto de vista arquitectónico, analizaremos en cubiertas planas estos triturados de vidrios amorfos provenientes de reciclados, utilizándose como base para una posterior comparación materiales tradicionales de cubiertas que también serán analizados paralelamente en similitud de condiciones.

La investigación partirá desde una pregunta: ¿Cómo influyen estos triturados de vidrios amorfos provenientes del reciclaje en la temperatura interior de un espacio arquitectónico expuesto a una cubierta exterior, en comparación con materiales tradicionales?

El proceso de investigación, luego de realizar la parte previa de investigación teórica, se realizará dividida en tres partes, y en el siguiente orden:

1. Se harían comprobaciones reales, en la época del año más caliente y de mayor altura en la posición del sol (Junio y Julio) con los vidrios reciclados amorfos, depositándose en la cubierta de la ETSAV, y se medirán con DATALOGGERS, la temperatura resultante en la cara inferior. También se colocaran cristales que no provengan del reciclado, para analizar su comportamiento. Además se colocaran

materiales tradicionales que se utilizan como última capa de cubierta tales como grava y baldosas de arcilla cocida.

2. Se realizarán gráficas radiancia-temperatura exterior-temperatura interior en las cuales se puedan comparar el comportamiento de los diferentes materiales.
3. Se analizará el cómo disminuye la transmisión de calor hasta el interior con los distintos tipos de triturados de vidrios amorfos y en consecuencia el ahorro de climatización que se produce y en cuanto podríamos reducir el grueso de aislamiento en épocas estivales. En esta parte del proceso utilizaremos el programa THERM.

## Abstract

This research aims to determine the influences of use of recycled amorphous glass in the transmission of heat to the final coat of finish on the rooftop, giving therefore a possible improvement in the climate comfort in the areas directly affected by the solar radiation and heat transfer through the cover, and adjacent to obtain a reduction of the greenhouse effect.

As the main material of the research, we have chosen the glass from recycled, because if the extensions of this investigation reaches to influence in reducing greenhouse effect, we prioritize the use of recycled elements, not contradicting the objectives.

Starting from the architectural point of view, we analyze in flat roofs these amorphous crushed glass from recycled, because this type of covers are the most solar radiation received, also used for comparison, traditional materials used on roofs.

The research will start from the question: What impact do these amorphous crushed glass from recycling in the interior temperature of an architectural space exposed to a rooftop, compared to traditional materials?

The research process will take place in the following order:

1. Real checks would be made at the hottest time of the year and higher in the position of the sun (June and July) with amorphous glass recycled, deposited on the cover of the ETSAV, measured with data loggers the temperature resulting in the bottom face. Also we use to compare decorative glass. Besides traditional materials used as final covering layer such as gravel and baked clay tiles they are placed.
2. Graphic radiance-outside temperature-inside temperature where they can compare the performance of different materials will be made.
3. Analyze how decreases the heat transmission to the inside with various types of amorphous crushed glass and in consequence the saving in acclimatization that occurs and how much we could reduce the thickness of insulation in summer times. In this part of the process we will use the THERM program.

## **Palabras Claves/Keywords**

**total solar reflectance (TSR), coated surface, cool roof, heat island, reflective roof, sustainable roof, cool roof systems urban heat island (UHI) effect, Building energy model**

# Contenido

<b>RESUMEN</b>	<b>V</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>VI</b>
<b>PALABRAS CLAVES/KEYWORDS</b>	<b>VII</b>
<b>0. INTRODUCCIÓN</b>	<b>4</b>
<b>1. ANTECEDENTES</b>	<b>7</b>
<b>1.1 ARQUITECTÓNICOS</b>	<b>7</b>
<b>1.2 CIENTÍFICOS/NATURALES</b>	<b>9</b>
1.2.1 EL EFECTO INVERNADERO	10
1.2.2 EL RECICLAJE	12
1.2.3 EL AHORRO ENERGÉTICO	14
<b>1.3 GEOGRÁFICOS/CLIMÁTICOS</b>	<b>15</b>
1.3.1 LA ARQUITECTURA VERNÁCULA	16
1.3.2 LA SOLUCIÓN BIOCLIMÁTICA	17
<b>1.4 COMERCIALES/CONSTRUCTIVOS/TÉCNICOS</b>	<b>21</b>
<b>2. ESTADO DEL ARTE</b>	<b>23</b>
<b>2.1 ESTUDIOS DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>23</b>
2.1.1 SELECCIONANDO UN “COOL ROOF”.	23
2.1.2 FUNCIONAMIENTO DE LAS CUBIERTAS REFLECTIVAS.	29
2.1.3 ESTUDIO ECONÓMICO.	32
<b>2.2 CASOS COMERCIALES</b>	<b>37</b>
2.2.1 COOL BLACK MAGIC	37
2.2.2 COOL PAINT – PINTURA RADIANTE PARA CUBIERTAS BITUMINOSAS	38



2.2.3	LÁMINAS SOLARCHECK® DE DTI PARA EDIFICIOS Y COMERCIOS	39
<b>2.3</b>	<b>ORGANIZACIONES DE INTERÉS</b>	<b>40</b>
2.3.1	ENERGY STAR	40
2.3.2	US GREEN BUILDING COUNCIL'S LEADERSHIP IN ENERGY AND ENVIRONMENTAL DESIGN (LEED)	42
2.3.3	OTRAS ORGANIZACIONES	42
<b>2.4</b>	<b>WEBS DE INTERÉS</b>	<b>44</b>
<b>2.5</b>	<b>COMENTARIOS SOBRE EL ESTADO DEL ARTE</b>	<b>45</b>
<b>3.</b>	<b>HIPÓTESIS</b>	<b>47</b>
<b>4.</b>	<b>METODOLOGÍA APLICADA</b>	<b>48</b>
<b>4.1</b>	<b>PRIMERA FASE</b>	<b>48</b>
4.1.1	PROCESO DE CAMPO	48
4.1.2	MATERIALES A ESTUDIAR	53
4.1.3	INSTRUMENTACIÓN	54
<b>4.2</b>	<b>SEGUNDA FASE</b>	<b>55</b>
<b>4.3</b>	<b>TERCERA FASE</b>	<b>56</b>
<b>5.</b>	<b>ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS</b>	<b>57</b>
<b>5.1</b>	<b>ANÁLISIS INTRODUCTORIO DE DATOS</b>	<b>57</b>
<b>5.2</b>	<b>ANÁLISIS GLOBAL DE JUNIO-JULIO-AGOSTO (TOTAL DEL TIEMPO EXPERIMENTADO)</b>	<b>58</b>
5.2.1	TECHO 1 (VIDRIOS PROVENIENTES DEL RECICLAJE)	58
5.2.2	TECHO 2 (VIDRIOS DECORATIVOS POR COLOR IKEA)	61
5.2.3	TECHO 3 (MATERIALES CONVENCIONALES DE CUBIERTA)	64
<b>5.3</b>	<b>ANÁLISIS DEL SOLSTICIO</b>	<b>66</b>
5.3.1	INTRODUCCIÓN AL ANÁLISIS DEL SOLSTICIO	66
5.3.2	TECHO 1 (VIDRIOS PROVENIENTES DEL RECICLAJE)	67
5.3.3	TECHO 2 (VIDRIOS DECORATIVOS POR COLOR IKEA)	71
5.3.4	TECHO 3 (MATERIALES CONVENCIONALES DE CUBIERTA)	75
<b>5.4</b>	<b>TRITURADO EQUIVALENCIA GRANULOMÉTRICA</b>	<b>77</b>
5.4.1	INTRODUCCIÓN	77
5.4.2	COMPARANDO LOS DATOS	79
<b>5.5</b>	<b>ACERCAMIENTO A LA CURVA</b>	<b>81</b>
5.5.1	INTRODUCCIÓN	81
5.5.2	OBSERVACIÓN GRAFICA DÍA MÁXIMA TEMPERATURA ANTES DE TRITURADO COMPARATIVO TECHO 1	82
5.5.3	OBSERVACIÓN GRAFICA DÍA MÁXIMA TEMPERATURA LUEGO DE TRITURADOS TECHO 1	83
5.5.4	OBSERVACIÓN GRAFICA DÍA MÁXIMA TEMPERATURA VIDRIOS DECORATIVOS POR COLOR IKEA TECHO 2	84

5.5.5	OBSERVACIÓN GRAFICA DÍA MÁXIMA TEMPERATURA MATERIALES CONVENCIONALES DE CUBIERTA TECHO	
3	84	
<b>5.6</b>	<b>PREGUNTAS A ANALIZAR</b>	<b>85</b>
5.6.1	INTRODUCCIÓN	85
5.6.2	PREGUNTAS	85
5.6.3	BUSCANDO RESPUESTAS	86
5.6.4	ANÁLISIS GRAFICO DE LAS PREGUNTAS	87
<b>5.7</b>	<b>CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS</b>	<b>94</b>
<b>6.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.</b>
<b>7.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>95</b>
<b>8.</b>	<b>ANEXOS</b>	<b>97</b>

## 0.Introducción

Este proyecto para culminar el Master en Tecnología en la Arquitectura, se realizará en el periodo comprendido Febrero-Septiembre del curso académico 2014-2015, alcanzando su fase practica-experimental en los meses de Junio y Julio.

Como profesional en la Arquitectura estamos preparados para distintas tareas a realizar en la vida profesional, abarcando desde el diseño, hasta la restauración y construcción de los mismos. Pero dentro de este amplio campo que abarca la palabra Arquitectura, existe un ámbito que hoy en día está en boga, la Arquitectura Sostenible, debido a la preocupación que ha surgido desde hace varios años, por el deterioro de nuestro planeta.

Aunque esta tesis tendrá un enfoque dirigido hacia lo climático, enfocándose en lo que en el ámbito térmico del análisis, no se puede pasar por alto, que la mejora en la climatización natural de un edificio conlleva indirectamente a la mejora energética del mismo, lo que luego de concluida esta cadena se resumen en un ahorro de nuestros recursos naturales.

Además de esta mejora en la eficiencia energética que puede producirse de ser positivo el resultado, hay que destacar también que los recursos a utilizarse provienen del reciclaje, con lo que estaremos atacando dos pilares de la arquitectura sostenible:

- La reducción de consumo de energía para la climatización del edificio.
- La moderación en el uso de materiales (reciclar, reutilizar, reducir).

Por otro lado estamos buscando con este proyecto el confort térmico del usuario, por lo que estaremos entrando también el campo de la Arquitectura Bioclimática. Sabemos que

el confort térmico de una persona abarca varios factores, como la humedad relativa, la velocidad del aire, entre otros, destacando nosotros la temperatura del aire, que sería el cual buscaríamos mejorar con nuestro proyecto.

Por otro lado, estaremos entrando en el campo de la Construcción y de la Rehabilitación de los edificios, ya que esta nueva técnica debería poder ser empleada de ser satisfactoria tanto en edificios nuevos, como en edificios existentes, por lo cual un pilar importante en nuestro trabajo de investigación es un plan de realización del mismo, sentando las bases y las pautas para que pueda esta hipótesis planteada poder ser ejecutada en la práctica.

Por lo tanto nuestro trabajo de investigación estará enfocado prioritariamente en un análisis térmico (no lumínico), que en resumen estaremos abarcando tres grandes pilares de la arquitectura:

- La Arquitectura Sostenible.
- La Arquitectura Bioclimática.
- La Construcción y Rehabilitación de Edificios.

Por último, es importante destacar que la formación del arquitecto puede abarcar muchos campos, y debe proponer soluciones creativas a los problemas que se le presentan en el ejercicio de la profesión, pero estas soluciones deben apoyarse en otros especialistas y profesionales en otras áreas, pero que influyen directa o indirectamente el tema que estamos tratando, convirtiéndose este trabajo de investigación en un proyecto en equipo que según se va desarrollando pueden ir incorporándose en la medida que sea necesaria nuevos perfiles profesionales en su colaboración.



## 1. Antecedentes

En relación a este tema de investigación, hay muchas investigaciones sobre el comportamiento de las cubiertas cuando les afecta la radiación solar directa, también hay números estudios, casos prácticos, ejemplos, compañías, publicaciones, etc. sobre el comportamiento de los aislantes térmicos en las cubiertas.

Mi país de origen, República Dominicana, es un país el cual registra a través de todo el año altas temperaturas, y que además es un país en vías de desarrollo, lo cual hizo surgir mi interés en poder mejorar el confort de las personas, a un bajo coste económico.

Desde diferentes enfoques podemos analizar como la arquitectura, distintas ciencias y el mercado comercial ha ido interesándose por el tema de la transmisión de calor a través de las cubiertas (planas) y como ha ido evolucionando a través del tiempo hasta situarnos en la actualidad.

### 1.1 Arquitectónicos

En una exposición titulada “La cubierta plana, un paseo por su historia” en conmemoración del 50 aniversario de la empresa Texsa en el 2005, Ramón Graus expone que las cubiertas planas han existido desde la antigüedad en zonas de escasa pluviometría anual donde se desarrollaban los primeros “terrados”, pero su desarrollo vino de la mano con el movimiento moderno, cuando comenzaron a surgir materiales que garantizaban la estanqueidad.

Sus orígenes datan desde el mundo preindustrial, que ante la ausencia de espacio propio, surge la azotea como aquella estancia al aire libre donde realizar actividades al aire libre como secar el grano, tender la ropa, y hasta dormir en noches calurosas. Así vemos como comienzan a surgir las primeras inquietudes por la emisión de calor de las mismas, cuando aprovechaban esta radiación para estas actividades, o cuando tenían que salir hacia estas en busca de un mejor confort térmico, ya que estas cubiertas estaban quitándoselo. Pero aun no surgía la idea de utilizar algún material o técnica para evitar este des confort interior causado por la radiación solar, a diferencia de los

problemas de impermeabilización, que ya habían comenzado a buscarle soluciones utilizando una última capa compactada de arcilla y en otras regiones de cal, yeso, llegando hasta la utilización de embaldosados como en las terrazas de Cádiz. Lo que si podemos apreciar es una preocupación en la técnica.

Para 1925 Le Corbusier analizaba el comportamiento de las cubiertas planas frente a las inclinadas y llega a la conclusión de que las cubiertas planas recuperaban el espacio perdido en el terreno, pero la pregunta es: ¿Cuándo comienzan los arquitectos y constructores a preocuparse por la energía que solar que afectaba a estas cubiertas y comenzaron a plantearse métodos para reducir su calentamiento? Para esto hay que analizar la evolución técnica de las cubiertas planas.

Es para los años 50 cuando los problemas que presentaban las cubiertas, como el de dilatación, cuando se comienzan a “estudiar el orden de las capas y la formulación en Estados Unidos (1951) de la Insulated Roof Membrane Assembly (upside-down roof), la llamada cubierta invertida” (Graus, 2005). Es aquí cuando el arquitecto comienza a preocuparse por el calentamiento de la cubierta. Bajo estas líneas, una de las primeras referencias a la cubierta invertida en España (CAU, Octubre de 1979).

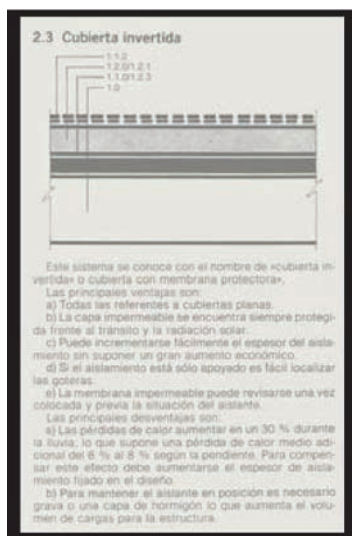


Figura 1. Una de las primeras referencias a la cubierta invertida en España [CAU, 58 de Octubre de 1979 Colección Ramón Graus]



Figura 2. Primera edición del texto “Fallos en los edificios” un clásico de la patología de la construcción de Lyall Addleson en el que se hace un estudio de los problemas de las cubiertas planas [CAU, 61 de Febrero de 1980 – Colección Ramon Graus]

Por último, en un reporte realizado por la Asociación Técnica del desarrollo del conocimiento de las propiedades de los materiales y el rendimiento de las estructuras



(RILEM/CIB, 2001), plantean los criterios de cómo deben ser diseñados, construidos y mantenidos las cubiertas, para minimizar el daño al medio ambiente. Se plantearon tres principios básicos que deben cumplir:

- Minimizar la carga al medio ambiente.
- Conservar la energía.
- Extender la vida útil de la cubierta.

## 1.2 Científicos/Naturales

¿Cómo beneficiaría al Planeta Tierra esta reducción en la temperatura de la cubierta al planeta tierra? Planteando la problemática del calentamiento global, siendo el aumento de la temperatura global en los últimos siglos, una de las preocupaciones prioritarias de la población mundial, debemos ejercer la profesión de manera sostenible, buscando optimizar recursos naturales y sistemas de la edificación de tal modo que minimicen el impacto ambiental de los edificios sobre el medio ambiente y sus habitantes. A través de la arquitectura podemos contribuir a combatir el calentamiento global que está sufriendo nuestro planeta desde hace años. Cabe destacar que España se comprometió en Protocolo de Kioto sobre el cambio climático a limitar el aumento de sus emisiones un máximo del 15 % en relación al año base. Pero según el “Inventario Español de Gases Efecto Invernadero” España está lejos de cumplir lo pactado. Según el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (2009). «Inventario de Emisiones a la Atmósfera de España 1990-2007 El incremento de sus emisiones en relación a 1990 durante los últimos años ha sido como sigue: 1996: 7 %; 1997: 15 %; 1998: 18 %; 1999: 28 %; 2000: 33 %; 2001: 33 %; 2002: 39 %; 2003: 41 %; 2004: 47 %; 2005: 52 %; 2006: 49 %; 2007: 52 %; 2008: 42,7 %. En 2012 las emisiones de gases de invernadero disminuyeron un 1,9% respecto al año anterior. Después del descenso experimentado en 2012, las emisiones alcanzan un incremento del 18,7% respecto a 1990, año base del Protocolo de Kioto. En el periodo 2008-2012 España emitió una media de 24,5% de incremento frente al año base, superando así el 15% asignado por el Protocolo de Kioto. El descenso de estas emisiones se debe en gran parte a la crisis económica.

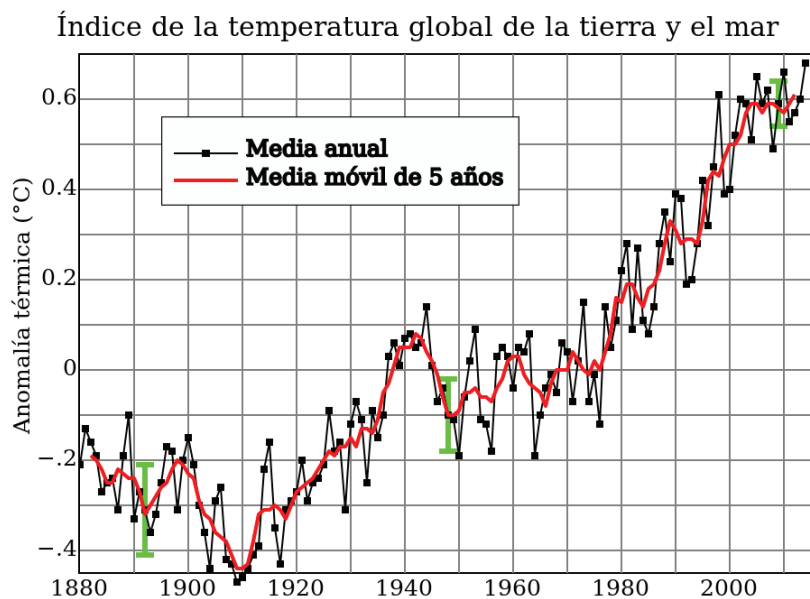


Figura 3. Media global del cambio de temperatura en la tierra y el mar en 1880-2014, respecto a la media de 1951-1980. La línea negra es la media anual y la roja la media móvil de cinco años. Las barras verdes indican estimaciones de incertidumbre. Fuente: NASA GISS

Podemos generalizar este tema en tres grandes líneas, las cuales consideramos que podemos influir con nuestra propuesta que hemos resumido de los principios de la arquitectura sostenible:

- El efecto invernadero.
- El ahorro energético.
- El reciclaje.

### 1.2.1 El Efecto Invernadero

Partiendo con el efecto invernadero, suponiendo además que nuestra investigación resultará beneficiosa en este aspecto, es importantes destacar como el ser humano ha ido aumentando su preocupación por el empeoramiento de este tema. Fue alrededor de la década del 70 cuando los científicos tuvieron herramientas para poder estudiar el fenómeno a profundidad: satélites para observar la Tierra, redes mundiales de toma de temperaturas, vientos, etc. pero desde 1824 se estaba mencionando el fenómeno cuando Joseph Fourier publicó “Observaciones generales sobre las temperaturas de la tierra y los espacios planetarios” donde redactó la hipótesis que la Tierra se mantenía templada porque la atmósfera retiene el calor como si estuviera bajo un gran cristal. Él fue el primero en utilizar la palabra invernadero. John Tyndall, en 1859 descubrió que el CO<sub>2</sub>,

el metano y el vapor de agua bloquean la radiación infrarroja. Lo que explica que aunque hace casi dos siglos se comenzó a hablar del tema, no fue hasta que los avances científicos permitieron tener los datos que comenzaron a generar preocupación entre el mundo científico.

El planeta tierra absorbe alrededor del 47% de la radiación solar, en esta absorción participan los edificios, cubiertas, carreteras, etc. además de las superficies naturales como el agua, la tierra, etc. Hay materiales que tienen mayor capacidad de absorción que otros y en esto también influye la pigmentación. Mientras las superficies negras pueden absorber cerca del 90% de la radiación solar, las blancas se acercan al 10%. Una vez absorben esta radiación solar la emiten en forma de radiación infrarroja, la cual no puede atravesar los gases que componen la atmósfera.

El efecto invernadero hace posible la vida en la tierra, pero sin embargo el uso desproporcionado de los recursos naturales por los seres humanos, ha aumentado este efecto lo que está causando el calentamiento global.

El balance energético de la tierra, consiste en que Globalmente la superficie de la Tierra absorbe energía solar por valor de  $161 \text{ w/m}^2$  y del efecto invernadero de la atmósfera recibe  $333 \text{ w/m}^2$ , lo que suma  $494 \text{ w/m}^2$ , como la superficie de la Tierra emite (o dicho de otra manera pierde) un total de  $493 \text{ w/m}^2$  (que se desglosan en  $17 \text{ w/m}^2$  de calor sensible,  $80 \text{ w/m}^2$  de calor latente de la evaporación del agua y  $396 \text{ w/m}^2$  de energía infrarroja), supone una absorción neta de calor de  $0,9 \text{ w/m}^2$ , que en el tiempo actual está provocando el calentamiento de la Tierra. (Fasullo, 2011)

¿Podríamos reducir esta emisividad reflejando la mayor cantidad posible de energía solar recibida en las cubiertas aportando así a la reducción del calentamiento global?

De antemano sabemos que el efecto invernadero no es el problema del calentamiento global, es parte del equilibrio natural de la temperatura del Planeta Tierra, más bien el problema se basa en los gases efectos invernaderos generados por el hombre (antropógeno), desde la época pre-industrial y que tardará varios millares de años en desaparecer. Estos alteran el proceso natural del efecto invernadero, por lo que es un mejor medio para combatir los daños el reciclaje, el ahorro energético, que plantear reflejar la energía solar que recibe la Tierra de manera masiva. Además que los triturados de cristal son formas amorfas, que no reflejaran de manera perfecta la energía solar recibida en forma de radiación directa, sino que se generaran un sinnúmero de micro sombras. A pesar de esto hay teorías que plantean que reflejando la radiación solar emitida en cantidades masivas estaríamos combatiendo el calentamiento global, como es el caso de Hashem Akbari, del Laboratorio Lawrence Berkeley de California (Estados Unidos), así como El Nobel de física en 1997 y ministro de Energía de Estados Unidos, Steven Chu sostiene que teñir de blanco las ciudades de todo el planeta podría contribuir de forma muy eficiente a la lucha contra el cambio climático. Su teoría se basa en la simple observación de las casas encaladas típicas en los pueblos del Mediterráneo: el sol se refleja en el color blanco y reduce el efecto invernadero. Según sus cálculos, con este método se puede llegar a contrarrestar el calentamiento global causado por 44.000

millones de toneladas de CO<sub>2</sub>. Chu afirmó que si se pintasen todas esas superficies con colores blancos se conseguiría una reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> similar a la que se obtendría prohibiendo la circulación de todos los coches del mundo durante once años. (El Mundo, Efe, 2009)

### 1.2.2 El Reciclaje

El artículo 45 de la Constitución Española se refiere al derecho que tienen todos los ciudadanos de disfrutar de un medio ambiente que permita el desarrollo normal de la persona, así como al mismo tiempo debe conservarlo, y los poderes públicos deben velar por la utilización racional de los recursos naturales (Artículo 45, 1978). El sector constructivo genera una gran cantidad de residuos, provenientes de la construcción, demolición, reformas, etc. El problema ambiental que generan estos residuos se debe tanto a su volumen, así como su tratamiento. Si también a esto le sumamos la generación de residuos en otros sectores, el problema es aún mayor, lo que sería ideal que desde el sector construcción podamos unificar un plan para aprovechar los residuos provenientes de otros ámbitos en el desarrollo de las edificaciones.

Como este proyecto se basa en la reutilización de vidrio proveniente del reciclaje, nos enfocaremos en el reciclaje de vidrio. El vidrio es uno de los materiales que nos permiten reutilizarse. Este es uno de los materiales más de uso doméstico más abundantes. Por esto en muchos países está organizada la recogida y el reciclaje de este material. El vidrio es un silicato que funde a 1200 grados. Principalmente está compuesto por sílice, acompañado de caliza y otros materiales que le dan la coloración. Existe el vidrio industrial, el cual es utilizado ventanas, bombillas, etc. y el vidrio domestico que es el que se utiliza para conservar productos de consumo humano. En un estudio realizado en Universidad Autónoma México, "Conocimiento del proceso de reciclaje de envases de vidrio; propuestas de mejora del proceso actual y análisis costo-beneficio de la implantación del mismo en la planta Vidriera Guadalajara" por Alejandro Mata y Carlos Gálvez, se determinó que desde el punto de vista del color, los vidrios más utilizados son:

- El verde (60%), utilizado masivamente en botellas.
- El claro (25%), utilizado en bebidas gaseosas, medicinas, etc.
- El extra claro (10%), utilizado en botellas minerales, tarros, etc.
- El ámbar (5%), utilizados en botellas de cervezas y en botellas de laboratorios.

El reciclaje de vidrio es un proceso en el cual los desechos de vidrios se vuelven a utilizar, ya sea volviéndolo a fundir o reutilizándolo luego de un lavada. Lo más interesante de este material es que puede ser reciclado un 100% e infinita veces. La mayor cantidad de vidrio reciclado (42%) proviene del uso doméstico, siendo el principal sector en la recuperación de vidrio. El vidrio que ha sido reciclado necesita 26% menos de energía comparándolo con su fabricación desde cero y las emisiones que contaminan la atmosfera producto de su proceso se ven reducidas en un 20%, contaminando un 40% menos de agua que la fabricación de vidrio a partir de la materia prima.

Cada tonelada de desechos de vidrio que se recicla evita que 315 kilogramos de dióxido de carbono se liberen a la atmósfera durante la fabricación de vidrio.

En España, según el Informe de Sostenibilidad realizado por la entidad sin ánimo de lucro Ecovidrio, con la entrada en vigor de la Ley de Envases y Residuos de Envases, en 1997, se marcó un punto de inflexión en el reciclaje en general, y en el del vidrio. Desde entonces se han reciclado 11 millones de toneladas de vidrio en España, situándose hoy en día en 68.9% la tasa de reciclado a nivel nacional.

Año	Vidrio Cont. 1	Vidrio Otras Fuentes	Total
2014	694.325	203.503	897.828
2013	687.683	162.045	849.728
2012	683.255	108.159	791.414
2011	678.743	2.440	681.183
2010	709.996	2.240	712.236
2009	712.662	38.919	751.581

(1) En el ejercicio 2014 se han recogido 694.325 toneladas de vidrio procedente de los contenedores ubicados en los municipios españoles.

(2) Adicionalmente, en función de otros planes de colaboración de Ecovidrio, se han recogido a través de otras fuentes (vidrio reciclado en otros canales diferentes a la recogida municipal): 203.503 toneladas.

Fuente: ([http://www.ecovidrio.es/estadisticas\\_espana.aspx](http://www.ecovidrio.es/estadisticas_espana.aspx), n.d.)

El reciclaje de vidrio aporta cuatro beneficios fundamentales:

- Ahorramos materia prima, evitando extraer de la naturaleza, materiales para fabricar nuevos envases.
- Ahorramos energía, al necesitar menos energía para ser fundido, y al reutilizarse evitando producción para nuevos envases, entrando aquí a influir indirectamente en el próximo acápite, que mencionamos el ahorro de energía, pero producto del ahorro en climatización que esperamos lograr.
- Evitamos la emisión de CO<sub>2</sub>, por la reducción del consumo energético, aportando aquí doblemente en reducir la emisión de los gases con efecto invernadero, ya que podríamos lograr un doble ahorro energético como mencionamos en el punto anterior.
- Evitamos la ocupación de los vertederos.

Para tener una idea de lo que ahorramos con el reciclaje de vidrio reciclando tres botellas de vidrio logramos:

- Extraer de la naturaleza más de 1 kg. de materia prima.
- Ahorra el equivalente a mantener una bombilla encendida durante 9 días.
- Evitamos la emisión de 1 kg. de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.
- Ahorra el equivalente a mantener encendido dos días el frigorífico.
- Cargar un Smartphone durante 1 año.

El proceso de reciclaje de vidrio va desde la fabricación del envase hasta la planta recicladora volviendo otra vez a la fábrica de envases. Nosotros buscamos interferir en este ciclo justo antes de llegar a la planta recicladora, o en la planta recicladora antes de fundir el material, lo que estaríamos ahorrando aún más energía de la estimada por reciclar, ya que necesitaríamos el producto aun en bruto.

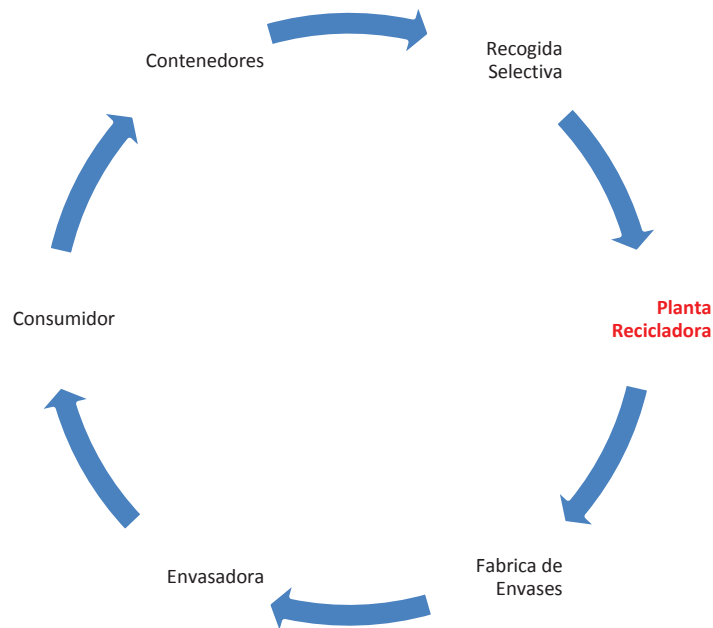


Figura 4. Se muestra el ciclo del reciclaje del vidrio. Propondríamos entrar antes luego del momento de la recogida, ahorrando así el proceso de fundición del material

### 1.2.3 El Ahorro Energético

La arquitectura bioclimática el diseño y desarrollo de edificaciones, tomando en cuenta las condiciones climáticas, y aprovechando los recursos naturales disponibles como son sol, agua, viento, lluvia, con el fin de reducir el consumo energético y el impacto ambiental.



¿Estaríamos de alguna forma aplicando las bases de la arquitectura bioclimática en nuestro proyecto de investigación? Uno de los objetivos planteados es el ahorro de consumo energético, como resultado de la esperada mejora del confort térmico de nuestra propuesta, tomando en cuenta que la incidencia de radiación solar es alta en la zona y el momento donde lo aplicaríamos, con lo que estaríamos reduciendo el consumo energético por segunda vez, si consideramos el ya logrado por el reciclado previo.

Este concepto, aunque se escucha con más fuerza desde la última década, no es nuevo. Se viene utilizando desde hace mucho tiempo y un ejemplo de esto son las casas encaladas en Andalucía, que con su técnica de aplicar la cal, y lograr la coloración blanca, reducen considerablemente sus temperatura interior, técnica que proviene de mucho tiempo atrás, por lo que aunque esta técnica existe antes que existiera la energía eléctrica, hoy en día, mucho tiempo después se ve reflejado en un ahorro energético y económico para el usuario, que al mismo tiempo se ve beneficiado el Planeta Tierra.



Figura 5. Casas encaladas de Alpujarra, Granada.

### 1.3 Geográficos/Climáticos

No toda zona geográfica es apta para tratar las superficies de cubiertas enfocadas en el objetivo de la reflexión. El clima determina de manera considerable la forma construida. La arquitectura vernácula refleja el resultado de la compresión de las condiciones locales



antes de realizar un proyecto, en la cual juega un papel importante la tradición y su evolución con el paso del tiempo. Todo dependerá de la zona geográfica donde se encuentre. Por lo tanto queremos enfocar este tema en zonas donde el clima es cálido, o por lo menos una parte del año lo sea. Citando un caso, República Dominicana que todo el año sufre altas temperaturas, o el clima mediterráneo donde en verano experimenta altas subidas de temperaturas.

Tradicionalmente la arquitectura ha adaptado a la zona donde se diseña, un ejemplo de esto fue lo mostrado en el punto anterior sobre las casas encaladas de Andalucía. Muchas corrientes arquitectónicas, desde Vitrubio, hasta la arquitectura vernácula, han intentado adaptarse a las condiciones que presenta la zona geográfica. Para hablar de este tema podemos generalizar en dos corrientes, que explican cómo se adapta la arquitectura a la zona, clima (evolución del sol, de las temperaturas, las condiciones de viento y precipitaciones), tradiciones y otros puntos que son importantes por las características del lugar:

- La Arquitectura Vernácula.
- La Solución Bioclimática.

### 1.3.1 La arquitectura Vernácula

¿Podría nuestra investigación, suponiendo que obtendríamos un resultado positivo, convertirse con el tiempo en parte de la arquitectura vernácula de algún lugar? La arquitectura vernácula se modela por varias vertientes:

- El clima (orientación, tipo de huecos y ventanales, etc.)
- Los materiales disponibles.
- Tecnología disponible.
- La sociedad y su evolución.

Si consideramos que en el futuro, los materiales y la tecnología disponible provendrán del reciclaje, podríamos estar hablando de arquitectura vernácula. Pero este proyecto estimamos que podría adaptarse a una gran cantidad de zonas que presenten características favorables para su utilización, ya que geografías cálidas, calientes, con mucha radiación solar se presentan en muchas partes del mundo, por lo cual a través de la inclusión de esta técnica que proponemos para mejorar el confort térmico, no podríamos identificarla como de un lugar propio, ni que surgió por las características sociales de una zona determinada, sino que surge como una necesidad global, de concientización ante los cambios y el deterioro que sufre nuestro planeta. A diferencia de las casas que se construyen en Mahatma, Túnez, como lo explica Jimena Ugarte en su “Guía Bioclimática Construir con el Clima” se realizan alrededor de un pozo central de aproximadamente 10 metros de profundidad. Las habitaciones se construyen alrededor

de este patio, en varios niveles. El acceso se resuelve con un túnel en pendiente. En este clima cálido y árido, las ventajas del patio son múltiples: inercia térmica del suelo reducción de la exposición al sol maximizando la sombra, estratificación del aire con reserva de aire fresco al fondo del patio, reducción de la exposición al viento, polvo, arena, etc. O en el trópico, las casas de patio central, cumplen con las mismas condiciones, permitiendo además ventilación cruzada y natural e iluminación natural en todo el perímetro. Esto si pueden identificarse como arquitectura vernácula de una zona específica.

### 1.3.2 La solución Bioclimática

El clima es el aspecto más crítico en la concepción de una arquitectura bioclimática. En esta influyen. En el tema anterior tratamos la arquitectura bioclimática, pero desde el punto de vista del ahorro energético, ahora enfocaremos este punto más allá del ahorro energético, y protección del medio ambiente, enfocándonos como el clima, desglosándolo en la evolución del sol, las variaciones de temperatura, el régimen de



Figura 6. Un ejemplo de como la arquitectura vernácula se adecua a las condiciones de la zona geográfica.

vientos y precipitaciones, influyen como temas a considerar en el diseño para lograr el bienestar del ocupante.

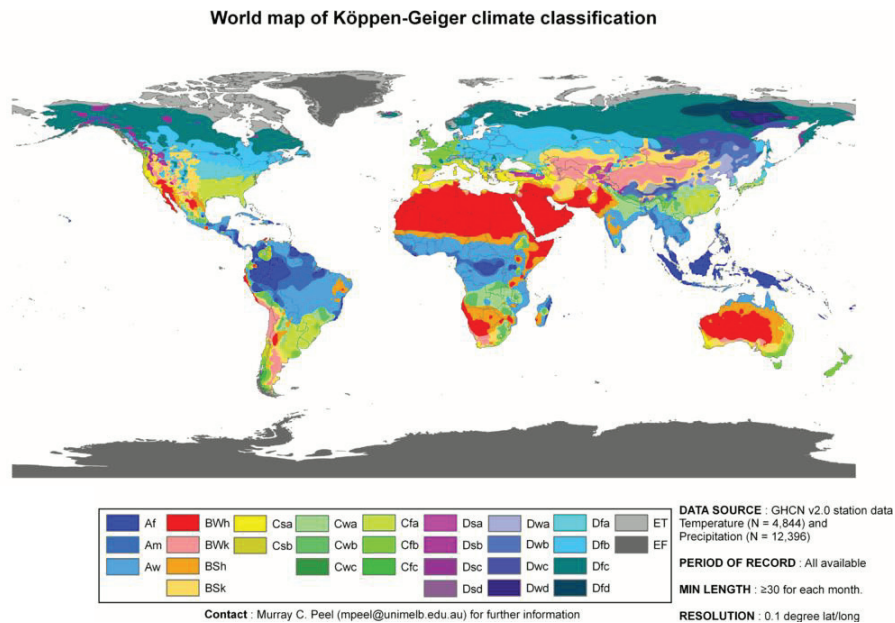
Los distintos climas se definen según su temperatura y humedad, y según estos parámetros podemos distinguir 4 tipos:

- Fríos, los cuales su temperatura promedio anual está por debajo de los 10° C.
- Temperados, temperatura promedio anual entre 10° C y 20° C.
- Cálidos, entre 20° C y 30° C.
- Muy calientes, temperaturas superiores a 30° C.

Y Según su humedad se clasifican en:

- Seco, humedad relativa inferior al 55%.
- Húmedo, humedad relativa superior a 55%.

Existen muchas clasificaciones, otro ejemplo sería la clasificación climática de Köppen, fue creada en 1900 por el científico ruso de origen alemán Wladimir Peter Köppen y posteriormente modificada en 1918 y 1936. Consiste en una clasificación climática mundial que identifica cada tipo de clima con una serie de letras que indican el comportamiento de las temperaturas y precipitaciones que caracterizan dicho tipo de clima.



Estas clasificaciones se subdividen según las sub zonas. Es importante para el arquitecto conocer a profundidad la sub zona donde se va a trabajar. Existen múltiples variantes y microclimas a considerar. El clima ideal para trabajar nuestro proyecto sería un clima que se manejen altas temperaturas y que la humedad relativa sea baja, por eso enfocamos nuestras fechas de experimentación en Junio, Julio y Agosto, ya que es la época en la cual la zona mediterránea se acerca más a estos valores, que nos darán un resultado más explícito del comportamiento de la cubierta que proponemos.

Dentro de estos parámetros de climas mencionados, algunos factores que se deben tomar en cuenta para dar una buena solución bioclimática y así adoptar una buena estrategia para trabajar con el clima como referente son:

- La Captación o reflexión solar, según el clima puede ser necesario o no la captación o la reflexión del sol. Para captarla existen tanto sistemas activos como pasivos.
- La orientación, responde a la necesidad de utilización de luz natural, de utilización de la energía solar para calentar o evitar el calentamiento del edificio, son parámetros importantes al momento de orientarlo.
- La ventilación.

- Los materiales utilizados, ya sean refractivos o absorbentes.

Pero en nuestro proyecto lo importantes el factor solar el más importante, y como el vidrio es el material que utilizaremos, haremos hincapié en estos puntos.

El factor solar representa el porcentaje de energía solar que incide a través de una vidriera hacia el interior. Mientras más se controle esto, menos carga térmica se necesitara para climatizar el interior. Los parámetros a tomar en cuenta son:

- La latitud y la estación (posición solar).
- La geometría del edificio.
- Las propiedades del vidrio utilizado.

Aunque estos factores se refieren más bien al edificio, podemos extrapolarlo a nuestra propuesta deduciendo que:

1. Los vidrios Claros dejan pasar la luz.
2. Los vidrios oscuros absorben la energía, remetiéndola bajo forma de infrarrojos tanto al exterior como al interior, siendo la ventilación un factor importante que influye en este.
3. Los vidrios reflectivos disminuyen considerablemente la cantidad en energía transmitida.

Es importante señalar la transmisión luminosa de cada tipo de vidrio, siendo para el vidrio claro un factor de un 90% de intensidad luminosa transmitida, un 8% es reflejado y un 2% degradado en calor. Los vidrios claros son los que permiten la mayor entrada de intensidad luminosa; los absorbentes permiten disminuir la fracción transmitida en beneficio de la absorbida y los reflectivos, caracterizan por un crecimiento en la parte de radiación solar reflejado y una disminución de la fracción transmitida. No hay que olvidar que la elección de vidrios reflectivos puede modificar el ambiente circundante y es un riesgo importante: encandilamiento de los ocupantes de edificios vecinos y para los peatones, recalentamiento de los pisos, reflejos molestos en otros edificios. La elección del factor transmisión luminosa depende de la cantidad de luz que se pretende en el edificio. Para nuestro caso es importante señalar que lo que buscamos con nuestra propuesta es disminuir la transmisión de calor hacia el interior.

## 1.4 Comerciales/Constructivos/Técnicos

En el diario vivir encontraremos un sin número de ejemplos, que muchas veces nos pasan por delante y no nos percatamos de como buscan de una forma u otra evitar la ganancia térmica de algún objeto. Un buen ejemplo de esto serían los protectores que usan los coches para reflejar la radiación solar y así evitar el calentamiento de estos en su interior. Otro ejemplo son las bolsas isotérmicas que están vendiendo los supermercados, para conservar los alimentos a una mejor temperatura en su recorrido hasta la casa y evitar que sean dañados por la incidencia solar.



Figura 8. Ejemplo cotidiano de como los coches reflejan la radiación solar incidente para evitar su calentamiento. En la segunda imagen vemos una bolsa isotérmica de supermercado, que evitan la variación de temperatura de los alimentos por incidencia solar.

También en la arquitectura tenemos ejemplos de cómo son usados materiales, productos y técnicas con la finalidad de evitar el calentamiento interior por causa de la incidencia solar en la cubierta. Tradicionalmente se han utilizado las siguientes técnicas para evitar el calentamiento por esta causa:

- Fomentando la ventilación.
- Usando el color blanco para reflejar.
- Utilizando las sombras.

Pero la técnica ha ido evolucionando y el mercado se ha ido adaptando a las necesidades de los diseños, teniendo hoy en día un sin número de opciones a utilizar para este propósito, desde pigmentos altamente reflectivos hasta aislantes térmicos.

Bajo la gama de productos que nos ofrece el mercado hoy en día, ¿existe algún producto que sirva para evitar el calentamiento interior por la incidencia solar en las cubiertas planas, que pueda ser colocado ya sobre cubiertas existente sin que sea un método invasivo y que al mismo tiempo sea producto del reciclaje.





## 2. Estado del Arte

La tendencia “green” hoy en día, ha llevado a los comerciantes y productores a lanzar un sin número de productos que además de promocionarse como productos ecológicos, recalcan en el ahorro energético que producirá, lo que los hace productos atractivos para el mercado. Esto ha seguido una tendencia, un alza en la demanda, cada vez siendo más eficientes y llegando a categorizarse según el ahorro que producen. En lo siguiente analizaremos desde estudios de investigación llevados a cabo sobre el tema, hasta los productos que encontramos en el mercado con la finalidad de producir un ahorro energético en el hábitat, como producto de evitar el calentamiento de cubiertas por incidencia de radiación directa.

### 2.1 Estudios de Investigación

Numerosos estudios de investigación avalan hoy en día los beneficios de tratar las cubiertas con materiales que benefician el confort térmico interior gracias a la reflexión de la radiación solar. En este apartado trataremos varios estudios que ya han sido realizados y analizaremos expuesto por distintas personas que se han interesado en el tema.

#### 2.1.1 Seleccionando un “Cool Roof”.

**Guidelines for Selecting Cool Roofs, Bryan Urban and Kurt Roth, Ph.D., Julio 2010.**

Según este artículo, publicado por el Fraunhofer Center for Sustainable Energy Systems, para el U.S. Department of Energy Building Technologies Program and Oak Ridge National Laboratory, explica que los propietarios de edificios pueden ahorrar dinero y proteger el medio ambiente usando los “Cool Roof”. Este artículo ha sido creado con el objetivo de explicar cómo funcionan, que tipos están disponibles y determinar cuál es el apropiado para su edificio. Si una persona está planeando un nuevo edificio o restaurar un techo existente, los techos frescos deben considerarse como una opción de eficiencia energética. Existen productos “Cool Roof” en el mercado para casi todo tipo de techo. De la misma forma que usar ropa de color claro ayuda a una persona a mantenerse fresca en un día soleado, así mismo lo hacen las cubiertas utilizando la reflexión. Como puede verse en la imagen (Figura 9) los techos oscuros tradiciones puede alcanzar

temperaturas de hasta 150°F (66°C) en la temporada más caliente, mientras un techo claro puede mantenerse a unos 50°F (28°C).



Figura 9. En una tarde de mucho sol una superficie oscura alcanza temperaturas muchos más altas que un techo de color claro.

▪ ¿Por qué utilizar un “Cool Roof”?

Dentro de los Beneficios que proporcionan son:

- Ahorro energético que se traduce en ahorro económico.
- Mejora el confort térmico en el interior de los espacios donde no existe aire acondicionado.
- Disminuye la temperatura del techo, lo que prolonga su vida útil.

También proporcionan beneficios a la sociedad como son:

- Reduce la temperatura del aire en la zona, lo que mejora la calidad del aire.
- Reduce la demanda de energía.
- Reduce las emisiones de las plantas energéticas.
- Ayuda a combatir el calentamiento global.
- Mejora el rendimiento de los equipos de captación (placas solares) i bombas de calor.

▪ ¿Qué es un “Cool Roof”?

Los “Cool Roof” son techos que están diseñados para mantener una temperatura mas baja que los techos tradicionales mientras el sol este afectándolo directamente. El sol es el factor principal con el que trabajan los “Cool Roof”.

▪ ¿Cómo funciona un “Cool Roof”?

Son superficies que reflejan la luz del sol y emiten el calor más eficientemente que los techos oscuros, manteniéndose más fríos en el sol. En contraste, los “techos calientes” absorben mucha más energía solar que los “cool roof”, haciéndolos más calientes.

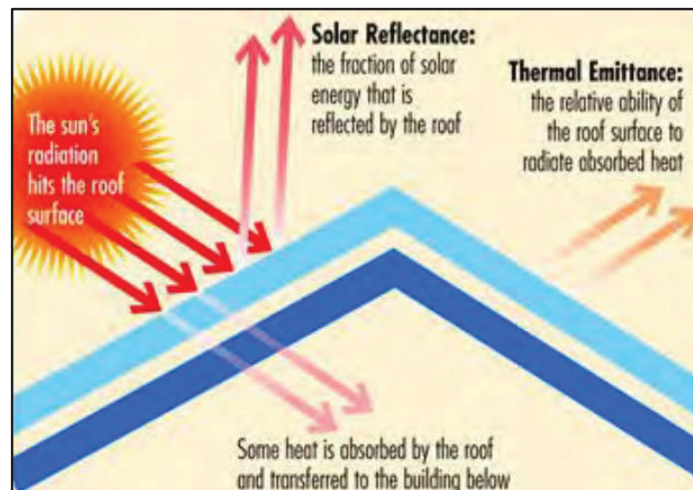


Figura 10. Funcionamiento general de las cubiertas reflectivas.

Las dos palabras claves que definen un “cool roof” son *reflectancia solar* y *emisividad térmica*.

- Reflectancia solar: es la fracción de luz solar que refleja una superficie. La que no es reflejada es absorbida por la superficie. Se mide en una escala de 0 a 1. Por ejemplo una superficie que refleja un 55% de la luz solar tiene una reflectancia de 0.55. La mayoría de materiales oscuros reflejan del 5 al 20%, mientras los materiales con colores claros reflejan del 55 a 90%.
- Emitancia Térmica: describe como una superficie se enfría de manera eficiente, porque emite radiación térmica. Se mide en una escala de 0 a 1, donde el 1 indica un emisor eficientemente perfecto. Las superficies no metálicas, como la patata en la imagen (figura 11) tienen una alta emisividad térmica, entre 0.80 y 0.95, que

ayudan a enfriarse. Las superficies brillantes, como el papel de aluminio, tienen una emisividad térmica baja, lo que ayuda a mantenerse caliente.



Figura 11. La piel de la patata, como la mayoría de los materiales de techo, tiene una alta emisividad térmica. La patata envuelta en papel de aluminio se mantiene más tiempo caliente, porque tiene una baja emisividad térmica.

Un tercer término que cabe mencionar:

- Índice de Reflectancia Solar: (siglas SRI en inglés) es una medida de la capacidad que un techo posee para rechazar el calor solar, que se manifiesta por una pequeña alza de temperatura. Se define que un negro estándar (reflectancia 0,05, emitancia 0,9) es 0 y que un blanco estándar (reflectancia 0,8 y emitancia 0,9) es 100. Por ejemplo, el negro estándar tiene un aumento de temperatura de 90°F (50°C) en sol pleno y el blanco estándar tiene un aumento de temperatura de 14,6°F (8,1°C). Una vez calculado el aumento máximo de temperatura de un material determinado, se puede calcular el SRI interpolando entre los valores para blancos y negros. Así que, el SRI es una escala de 0 a 100, siendo 0 el valor más plausible para absorber e irradiar calor (tal como un techo de alquitrán) y 100 siendo lo más reflectivo (calentándose menos), tal como el techo frío, el cual se pinta con pintura blanca reflectiva.

- ¿Qué califica como un “Cool Roof”?

En la siguiente tabla se muestran los requisitos mínimos de un “Cool Roof” y lo que en este documento se entiende como tal. Existen dos maneras para calificar como “Cool Roof”, superando la reflectancia solar o emitancia solar mínima. O de forma alternativa es cumplir como el requisito mínimo de SRI. Esto permite que techos que tienen baja reflectancia y alta emitancia térmica o viceversa calificar como un “Cool Roof”.

Tipo de Techo		Reflectancia Solar (3 años de edad)	Y	Emitancia Térmica (nuevo o envejecido)	O	Índice de Reflectancia Solar (SRI) (3 años de edad)
Pendiente Baja		0.55		0.75		64
Pendiente Empinada		0.20		0.75		16

- No todos los “Cool Roof” son blancos.

Aunque los materiales de color blanco son muy buenos reflectores, también materiales con otros colores pueden llegar a reflejar igual o más luz solar. Más de la mitad de la luz solar que alcanza la tierra es invisible al ojo humano, y esta luz invisible calienta las cubiertas. Una superficie de color que refleja una gran cantidad de luz solar en inglés es llamada “cool dark color” o “cool color”. Un “cool dark color” refleja más cantidad de luz solar que un similar color convencional oscuro, pero menos que una superficie clara. Por ejemplo, una superficie con un color convencional oscuro puede reflejar un 20% de luz solar recibida, una superficie con un “cool dark color” puede reflejar un 40% y una superficie con un color claro, 80%.

R=0.41 black	R=0.44 blue	R=0.44 gray	R=0.48 terracotta	R=0.46 green	R=0.41 chocolate
R=0.04	R=0.18	R=0.21	R=0.33	R=0.17	R=0.12

Figura 12. En la imagen se muestra materiales de cubierta “cool color” (fila superior) y se muestran semejantes a colores convencionales (fila inferior), pero con una mayor reflectancia solar.

- Ganancias y pérdidas de calor. Aislamiento térmico.

El calor fluye naturalmente de un espacio más cálido a un espacio más frío. El calor que fluye al edificio se llama *ganancia de calor*, mientras el que sale del edificio se llama *pérdida de calor*. Cuando ocurre una gran ganancia de calor, deben utilizarse mecanismos como el aire acondicionado para mantener el interior confortable. A través del techo de un edificio se puede ganar o perder una gran cantidad de calor. Los “cool roof” reducen las ganancias de calor. Esto puede significar un ahorro en refrigeración, pero puede aumentar la energía necesaria para refrigeración en épocas de frío. Por esta

razón debe analizarse cuidadosamente si los beneficios que producirá un “cool roof” en época de calor serán suficientes como para hacer rentable considerando que en invierno será necesario una mayor cantidad de energía para calefacción.

El aislamiento térmico puede reducir en gran medida la cantidad de calor perdido o ganado a través de un sistema de techo. Aunque los “cool roof” reducen las ganancias de calor, nunca se consideran como sustituto del aislamiento térmico, aunque si puede reducirlo, ahorrando también en cantidad necesaria a utilizar.

### ▪ Tipos de “Cool Roof”

Los “cool roof” están hechos de una o más capas de materiales. Los diferentes sistemas de techado presentan diferentes opciones de superficies. Seleccionando la superficie correcta, se puede convertir un techo nuevo o existente en un “cool roof”. A continuación presento algunos sistemas de techos comunes que pueden lograr ser techos frescos.

- Revestimientos “Cool Roof”, contiene pigmentos reflectantes blancos o especiales que reflejan la luz de sol.
- Membrana de capa individual, son láminas prefabricadas que se enrollan y se fijan con sujetadores mecánicos, y son unidas con adhesivos químicos.
- Built-Up Roofs, consiste en una hoja base, capas de tela reforzada y una capa protectora que es tradicionalmente oscura.
- Membranas de Láminas de Betón Modificado, se componen de una o más capas de plástico o goma con telas de refuerzo, y la superficie está compuesta de gránulos minerales o con un acabado liso.
- Espuma de Poliuretano rociado, estos techos son construido con la mezcla de dos productos químicos líquidos juntos que reaccionan y expanden para formar una pieza sólida que se adhiere a la cubierta.
- Techos de tejas, consisten en paneles superpuestos hechos de cualquiera de los numerosos materiales.
- Techos de baldosas, pueden ser de arcilla, de hormigón, de cerámicas, etc.
- Techos de metal, están disponibles con acabados metálicos naturales, acabados de pintura al horno, o superficies recubiertas de materiales granulares.

- ¿Debo utilizar un “cool roof”?

Para determinar si un “cool roof” es apropiado para un proyecto específico, podemos guiarnos de las siguientes preguntas descritas en la siguiente tabla, con la cual podremos determinar si es factible su utilización.

Factores Claves	Preguntas
Requisitos del Proyecto	¿Qué tipo de opciones de techo o de reparación son apropiadas para el edificio?
Reglamentos	¿Es un “cool roof” requerido por las normas para el edificio? ¿Es promovido los “cool roof” por programas voluntarios?
Economía	¿Cuánto cuesta un “cool roof”? ¿Hay incentivos fiscales por su uso? ¿Qué ahorro de costos se pueden esperar de este?
Otras Consideraciones	¿Hay reglamentaciones que restringen la apariencia del techo o del color? ¿Hay productos de “cool roof” disponibles en el mercado? ¿Cómo afectaría el “cool roof” la durabilidad del techo?

## 2.1.2 Funcionamiento de las Cubiertas Reflectivas.

### **Towards Sustainable Roofing, Karen Liu, Ph.D., September 2005.**

Este artículo publicado en el 2005, trata sobre distintas formas de cubiertas sostenibles, tratando un apartado sobre los techos reflectantes. En este se explica cómo funcionan los techos reflectivos, por esto hemos comenzado por este artículo. Explica que cuando la radiación solar llega a la superficie de la cubierta, esta tiene dos opciones, reflejarse o absorberse. El calor que se absorbe aumenta la temperatura de la cubierta, y una parte de este calor puede ser retirado por convección, dependiendo de la velocidad del viento y del clima local y otra parte disipada a la atmosfera por radiación.



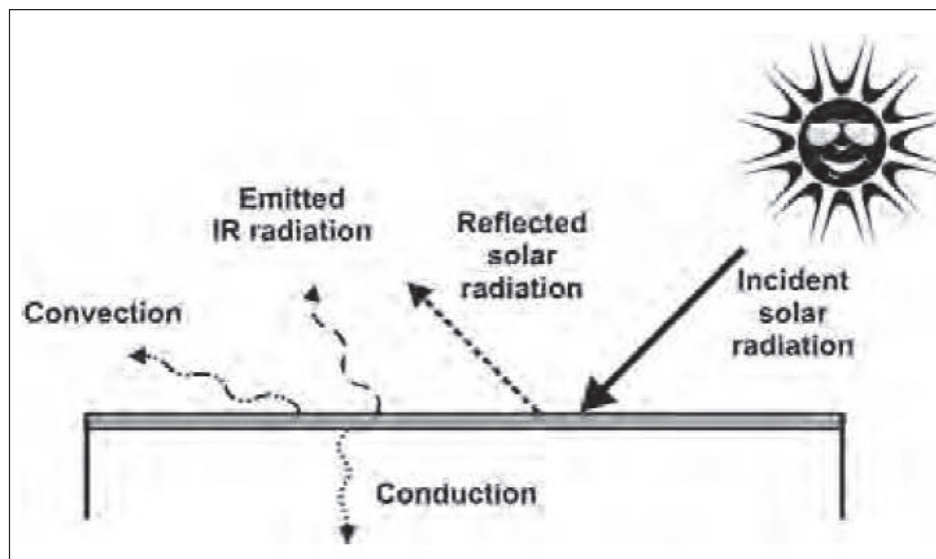


Figura 13. Mecanismo de transferencia de calor en una cubierta reflectiva.

El calor restante se transfiere de capa en capa de la cubierta por conducción hasta que finalmente es transmitido al interior. Esto se puede reducir con el uso de aislamiento térmico. También puede ser reducido modificando las características superficiales del techo. Hay dos características que afectan la incidencia de radiación solar en el techo:

- La reflectancia solar: es la fracción de energía solar incidente que es reflejada.
- Emisividad: es una medida de la capacidad de la superficie para arrojar la energía solar absorbida en forma de radiación infrarroja.

De esto concluimos que para mantener un lugar fresco cuando está expuesto directamente al sol, es mejor usar productos que tengan alta reflectancia solar (que reflejen la energía y que no la absorban) y alta emisividad (que irradie la energía absorbida lejos del techo).

En la tabla debajo se muestra las características (reflectancia solar y emisividad) de materiales comúnmente usados en los techos. Los materiales convencionales de techos tienen una reflectancia solar de 0.05 a 0.25. El uso de revestimientos en el techo puede aumentar la reflectancia solar a más de 0.60.

La mayoría de los materiales usados en los techos tienen una emisividad de 0.90 o superior, con excepción de los metales, que tienen una baja emisividad de alrededor de 0.25. Por esto, aunque sean muy reflectantes, los techos de metal tienden a hacer calor.

Superficie	Reflectancia Solar	Emisividad Infrarroja	Subida de Temperatura (°C)
EPDM-Negro	0.06	0.86	46
EPDM-Blanco	0.69	0.87	14
TPO-Blanco	0.83	0.92	6
Betún-liso	0.06	0.86	46
Betún-granulado blanco	0.26	0.92	35
Grava oscura	0.12	0.90	42
Grava ligera	0.34	0.90	32
Tejas genéricas granuladas negras	0.05	0.91	46
Tejas genéricas granuladas blancas	0.25	0.91	36
Tejas de aluminio	0.54	0.42	28
Acero galvanizado	0.61	0.04	31
Aluminio	0.61	0.25	27

La tabla también demuestra que al aumentar la reflectancia solar o la emisividad, la temperatura de la superficie del techo puede disminuir.

Por otro lado, se sabe, que el uso de techos reflectantes extiende la vida útil de la cubierta, ya que se reducen las fluctuaciones de la temperatura producto del día y de la noche.

Las cubiertas reflectantes se pueden ver afectadas por agentes como la suciedad. Las superficies de color claro pueden perder hasta un 20% de su reflectancia solar inicial durante su primer año. La reflectancia solar en la mayoría de los caso puedes ser restaurada a sus valores iniciales con simplemente lavarlos.

Por otro lado, Liu explica que lo más críticos de este sistema exponen que las características que hacen que un techo reflectante sean más fácil de refrescarse en verano, lo hacen al mismo tiempo más difícil de calentarse en invierno. Se ha demostrado que en climas cálidos, los beneficios de ahorro en verano, supera significativamente la penalidad de calefacción en invierno. Este no es el caso de climas fríos, donde calentar en invierno predomina sobre enfriar en verano.

Un estudio reciente mostró que para la zona más fría de EE.UU., el ahorro de energía a partir del uso de techos reflectantes eran inexistentes o negativa. Estos hallazgos muestran lo importante que es antes de llevar a cabo un proyecto de un techo reflectante,

que se deben realizar estudios previos sobre ahorro de energía.

Por otro lado, se sabe que el aislamiento térmico reduce el flujo de calor a través del techo, manteniendo el edificio fresco en verano y caliente en invierno y que los techos reflectantes reducen el flujo de calor en el verano, con el objetivo de reducir la carga de refrigeración al máximo, por lo cual no son sustitutos del aislamiento térmico en climas fríos, si en climas calientes.

Por último, los techos reflectantes tienen una carga visual por deslumbramiento, que puede representar un problema. Incluso la FAA ha alegado que el resplandor que producen los techos reflectantes en las trayectorias de vuelos, ha obligado en ocasiones a los pilotos a utilizar pistas de aterrizajes alternativas.

### **2.1.3 Estudio Económico.**

**The economics of cool roofing: a local and regional approach, James L. Hoff. Cool Roofing Symposium, Hyatt Regency Hotel Atlanta, Georgia, May 2005.**

Ya explicado cómo funcionan los techos reflectivos, algunas ventajas y desventajas, podemos ahora explicar sobre su funcionamiento económico, como una variable importante dentro del tema. Es ampliamente conocido que los techos reflectantes proporcionan un ahorro de costes de energía cuando tiene un clima favorable, y esto se ha demostrado ya en muchas partes de los Estados Unidos. Estos reducen las cargas de refrigeración y reducen los gastos por uso de aire acondicionado. Hay numerosos casos de estudio que avalan sus beneficios, así como las investigaciones que establecen los parámetros de diseño de control de la radiación solar. Como resultado de todas estas investigaciones, se ha desarrollado herramientas de modelado eficaces para ayudar a los diseñadores a tomar decisiones rentables con relación a la reflectividad del techo.

Entre estas herramientas, la más reconocida es la del Department of Energy (DOE) Cool Roof Calculator, desarrollada por Oak Ridge National Laboratories (ORNL, 2004). Esta herramienta utiliza los datos climáticos de 235 ciudades de Estados Unidos, combinándolos con algoritmos probados de transferencia de energía proporcionan una evolución precisa de los beneficios de los techos reflectantes. Lo más interesante de esta herramienta, es que utiliza una interfaz amigable con el usuario, no siendo necesario ser un experto en el tema, sino más bien basta con ser un simple usuario, ya que su facilidad permite a cualquier persona calcular los beneficios de estos techos.

Algunos críticos del tema, argumentan que esta herramienta puede causar malentendidos sobre la magnitud del ahorro que ofrece esta herramienta. La organización Heat Island Group of Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL, 2004), estima que el beneficio anual de ahorro para Estados Unidos por el uso de techos reflectantes supera los 100 millones de dólares, para un usuario particular, esta cifra le parecería muy atractiva, pero sin saber que el ahorro individual pudiera rondar los 100 dólares anuales.

Otro problema que presenta el tema es el mal uso de los techos reflectantes, en zonas donde realmente no son necesarias, ya que el factor radiación solar no es un factor importante. Incluso podrían llegar a tener un efecto negativo si son usados en zonas donde no son recomendables.

A continuación, proponemos un ejemplo del uso de la calculadora Cool Roof (DOE).

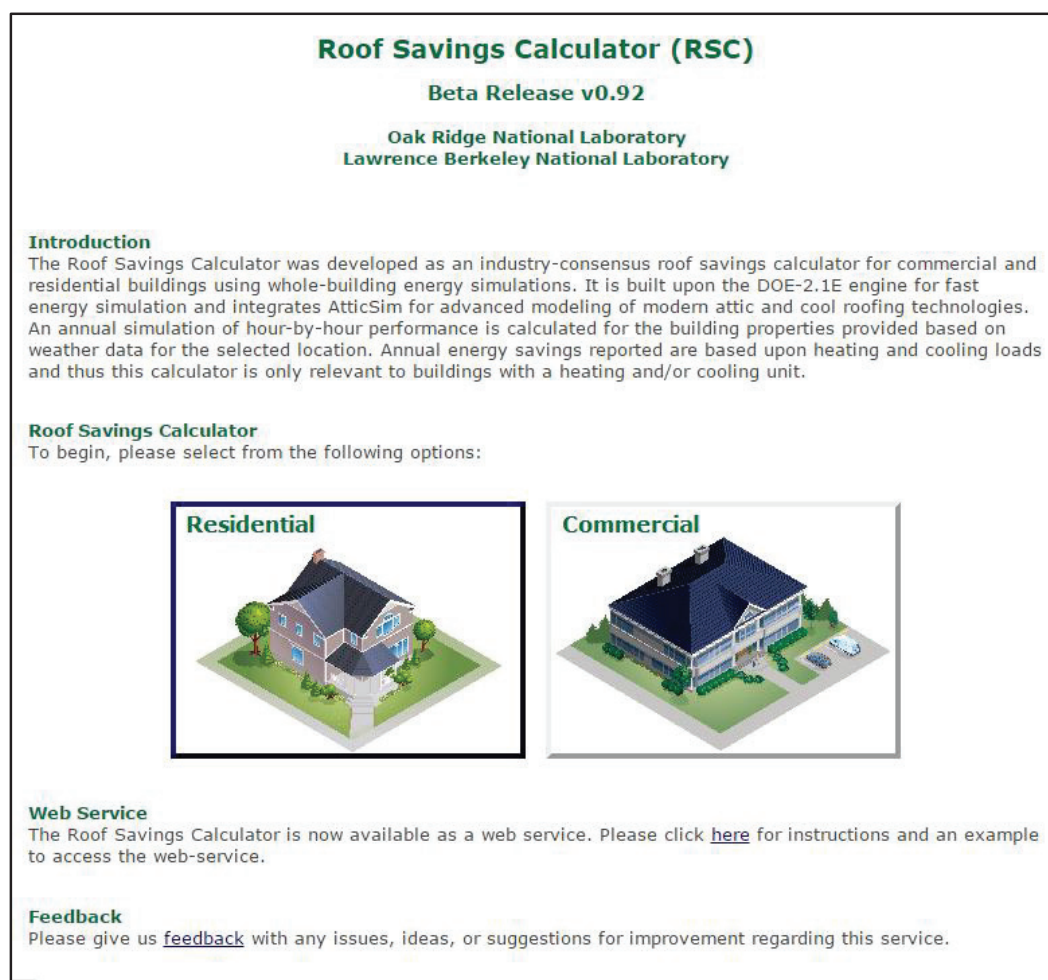


Figura 14. En la página inicial, la página web te permite elegir entre un caso residencial o comercial a analizar.



**Building**

1. Closest location (similar weather):  
FL - Miami

2. Building Type:  
Residential

3. Conditioned floor area (ft<sup>2</sup>):  
1000

4. Number of floors:  
1

5. Year of construction:  
☒ post-1990  
☐ 1980-1990  
☐ pre-1980

Figura 15. Los próximos pasos son introducir algunos datos como son: localización, tipo de edificio, el área a estudiar en pies cuadrados, numero de niveles y año de construcción del edificio. En nuestro ejemplo hemos colocado como localización Miami, el tipo de edificio Residencial, 1000 pies cuadrados de techo, 1 nivel y que fue construido luego de 1990.

**Heating/Cooling**

6. HVAC equipment:  
☐ Electric heat pump  
☒ Natural gas furnace

P1. Electricity price (cents per kWh):  
11.68

P2. Natural gas price (dollars per 1000 ft<sup>3</sup>):  
11.65

7. Heating system efficiency (AFUE):  
☐ High-efficiency (90%)  
☒ Mid-efficiency (83%)  
☐ Low-efficiency (70%)  
☐ None  
☐ Custom

8. Cooling system efficiency (SEER):  
☐ High-efficiency (15)  
☒ Mid-efficiency (13)  
☐ Low-efficiency (10)  
☐ None  
☐ Custom

Figura 16. En el siguiente paso, elegimos en HVAC (Heating, Ventilating and Air Conditioning), que la fuente de energía es gas natural, para hacer el ahorro mayor, y la eficiencia de los equipos baja.

Roof 1 - Existing Roof	Roof 2 - Cool Roof Comparison
<p>9. Roof type: <input checked="" type="radio"/> Tile <input type="radio"/> Metal <input type="radio"/> Asphalt shingle</p> <p>10. Solar reflectance (aged 3 yrs): <input type="radio"/> 60% <input type="radio"/> 50% <input type="radio"/> 40% <input type="radio"/> 30% <input type="radio"/> 20% <input type="radio"/> 10% <input type="radio"/> Custom 5</p> <p>11. Thermal emittance (aged 3 yrs): <input type="radio"/> Acrylic Al-Zn coated steel (15%) <input type="radio"/> Bare Al-Zn coated steel (20%) <input type="radio"/> Metallic field-applied coating (50%) <input type="radio"/> Painted steel (85%) <input type="radio"/> Other materials (90%)</p> <p>12. Above-sheathing ventilation: <input type="radio"/> Yes <input checked="" type="radio"/> No</p> <p>13. Pitch (rise:run): <input type="radio"/> High (slope &gt; 8:12) <input checked="" type="radio"/> Medium (2:12 - slope &lt; 8:12) <input type="radio"/> Low (slope &lt; 2:12)</p> <p>14. Radiant barrier present: <input type="radio"/> Yes <input checked="" type="radio"/> No</p> <p>15. Attic insulation (hr ft<sup>2</sup>°F per Btu): <input type="radio"/> R-5 <input type="radio"/> R-10 <input checked="" type="radio"/> R-19 <input type="radio"/> R-11 <input type="radio"/> R-7 <input type="radio"/> R-5 <input type="radio"/> R-3 <input type="radio"/> None</p> <p>16. Duct location: <input type="radio"/> Conditioned space <input checked="" type="radio"/> Attic</p> <p>17. Duct leakage: <input type="radio"/> Inspected (4%) <input checked="" type="radio"/> Uninspected (14%)</p>	<p>18. Roof type: <input type="radio"/> Tile <input type="radio"/> Metal <input type="radio"/> Asphalt shingle</p> <p>19. Solar reflectance (aged 3 yrs): <input type="radio"/> 60% <input type="radio"/> 50% <input type="radio"/> 40% <input type="radio"/> 30% <input type="radio"/> 20% <input type="radio"/> 10% <input type="radio"/> Custom 55</p> <p>20. Thermal emittance (aged 3 yrs): <input type="radio"/> Acrylic Al-Zn coated steel (15%) <input type="radio"/> Bare Al-Zn coated steel (20%) <input type="radio"/> Metallic field-applied coating (50%) <input type="radio"/> Painted steel (85%) <input type="radio"/> Other materials (90%)</p> <p>21. Above-sheathing ventilation: <input type="radio"/> Yes <input checked="" type="radio"/> No</p> <p>22. Pitch (rise:run): <input type="radio"/> High (slope &gt; 8:12) <input checked="" type="radio"/> Medium (2:12 - slope &lt; 8:12) <input type="radio"/> Low (slope &lt; 2:12)</p> <p>23. Radiant barrier present: <input type="radio"/> Yes <input checked="" type="radio"/> No</p> <p>24. Attic insulation (hr ft<sup>2</sup>°F per Btu): <input type="radio"/> R-5 <input type="radio"/> R-10 <input checked="" type="radio"/> R-19 <input type="radio"/> R-11 <input type="radio"/> R-7 <input type="radio"/> R-5 <input type="radio"/> R-3 <input type="radio"/> None</p> <p>25. Duct location: <input type="radio"/> Conditioned space <input checked="" type="radio"/> Attic</p> <p>26. Duct leakage: <input type="radio"/> Inspected (4%) <input checked="" type="radio"/> Uninspected (14%)</p>

Calculate

Figura 17. En el último paso antes de que la página web haga el cálculo, introducimos el material del techo reflectivo y del techo existente para compararlos. Introducimos valores como se pueden ver en la imagen, usando los recomendados por el artículo "The economics of cool roofing: a local and regional approach, James L. Hoff. Cool Roofing Symposium, Hyatt Regency Hotel Atlanta, Georgia, May 2005".

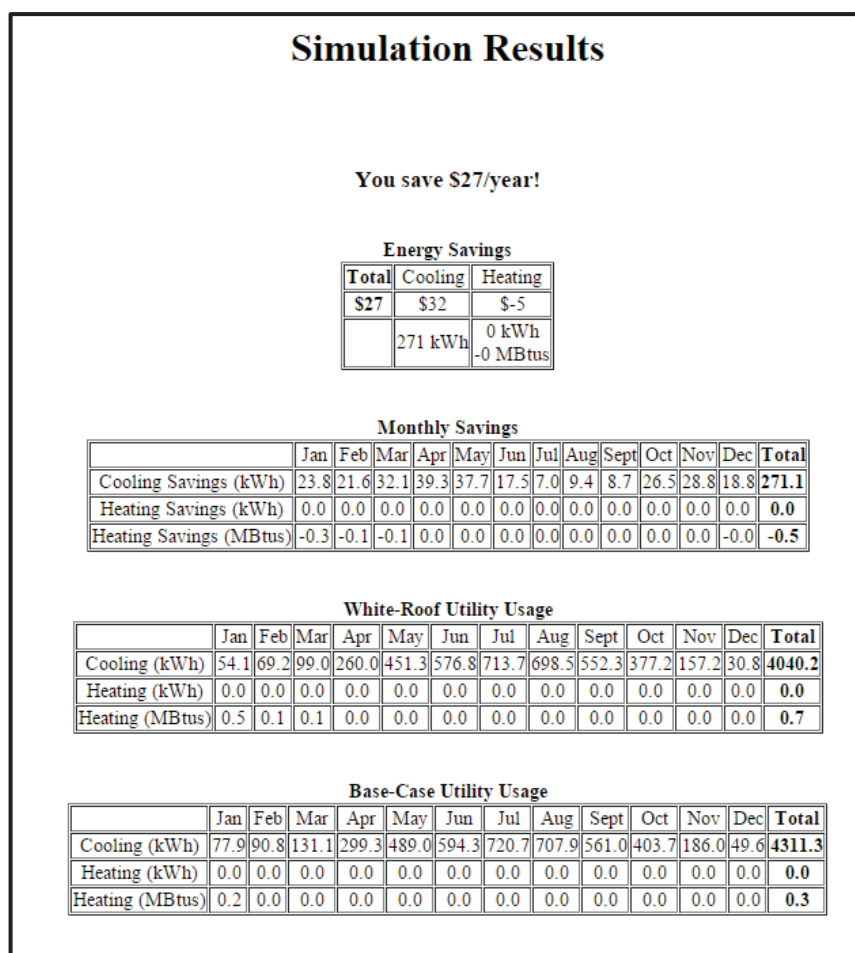


Figura 18. Tabla de resultado de la calculadora.

Concluyendo el análisis, el resultado nos muestra un ahorro de 27 dólares estadounidense al año. Como sabemos, mientras más cálida sea la zona, mas reflectivo sea el techo, y más área de techo se calcule el ahorro puede ser mayor, pero aun así, estos ahorros no son tan atractivos para el mercado. En el estudio “The economics of cool roofing: a local and regional approach, James L. Hoff. Cool Roofing Symposium, Hyatt Regency Hotel Atlanta, Georgia, May 2005” se comprobó que en la zonas frías, el aumento de reflectancia de un 55% a un 70% tuvo un efecto negativo, mientras que en la zonas cálidas aumento el ahorro. Aun así en este artículo se mencionan ahorros máximos de 400 dólares estadounidense al año para techos de 20.000 pies cuadrados, lo que evaluándolo con un sistema de techo reflectivo que el valor estimado para esta área podría ser entre los 80.000 y 120.000 dólares estadounidense, calculando a los 10 años, un ahorro fijo mensual de 400 dólares estadounidense, el precio amortizado sería menor de un 3% del monto de compra inicial.



## 2.2 Casos Comerciales

En el mercado existen productos, como son pinturas y láminas para cristales, que su principal función es la reflexión de la luz solar incidente. En este acápite trataremos tres ejemplos de productos comercializados para estos fines y que nos sirvan como una muestra de lo que podemos encontrar hoy en día en el mercado.

### 2.2.1 Cool black magic

El NIR-reflecting black pigment, Sicopal® Black K 0095 es un pigmento negro que refleja la luz solar incidente, lo cual es un producto sorprendente, ya que los materiales negros, son absorbente por excelencia, y este producto de la compañía química BASF ha logrado ofrecer un producto negro que refleje. Este producto es aplicado a techos de láminas de metal que, a techos de tejas, a persianas enrollable, a los marcos y perfiles de las ventanas. Este pigmento de color negro profundo, tiene un alto grado de reflexión, cercano al espectro infrarrojo. El color negro convencional, tiene un alto grado de absorción, lo que provoca un calentamiento excesivo de los materiales expuestos al sol. Este material ofrece la posibilidad a los materiales que necesariamente tenga que ser negros, una reducción en la cantidad de absorción significativa. Realmente Sicopal® Black K 0095, es un desarrollo obtenido a partir Sicopal® Marrón K 2795 FG y este combina los máximos valores de reflexión cercano al espectro infrarrojo. Esto permite producir negros frescos, así como también grises que presentan las mismas características. Sicopal® Negro K 0095 tiene la extremadamente alta estabilidad térmica típica de pigmentos inorgánicos. Es resistente a ataques químicos, físicos y no se disuelve con químicos disolventes estándar. Sin embargo es fácil de dispersar a la hora de aplicarse. Es adecuado para aplicarse en cualquier lugar que el calor intenso pueda

Solar IR reflectance	
Product	solar IR reflectance* ( $R_{total} - R_{visible}$ )
Sicopal® Black K 0095	~ 17 %
Sicopal® Black K 0090	~ 2 - 3 %
Carbon black	< 1 %

\* combined reflectance transmittance measurement, self-supporting film, 800 µm, 10 % pigment in PVC-p

Figura 19. Se muestra la reflectancia solar del Sicopal® Negro comparándolo con el negro normal. (Fuente Catálogo Sicopal).

acortar la vida de un material de construcción que necesariamente tenga que ser de color negro.

### 2.2.2 Cool Paint – pintura radiante para cubiertas bituminosas

La pintura Cool Paint, de la empresa ICOPAL, es un revestimiento de cubierta que refleja los rayos solares y por lo tanto permite mantener la superficie subyacente más fresca (efecto de techo frío). Conseguimos alargar la vida útil de la impermeabilización y se mejora la temperatura interior volviéndose más agradable. Cool Paint no contiene disolventes y resiste a la intemperie.

#### Aplicación

Para beneficiarse de las ventajas, basta con aplicar la pintura Cool Paint sobre antigua impermeabilización bituminosa. Cool Paint también puede aplicarse en cubiertas nuevas (con al menos 6 meses de envejecimiento previo). Aplicar sobre la superficie limpia y seca.

#### Las ventajas de Cool Paint

Si existe un exceso de calor en el interior de su edificio, la pintura Cool Paint en cubierta, le mejorará el aislamiento térmico del mismo. El color claro del producto refleja los rayos solares, impidiendo que el calor penetre en el edificio. Igualmente una temperatura interior más baja permite reducir el coste de energía al disminuir el consumo.

El techo frío se designa con un valor SRI (Índice de Reflectancia Solar) medido según la norma ASTM E1980. Cool Paint tiene un valor SRI de 89, lo que significa que una cubierta con Cool Paint refleja el 72% de los rayos solares y devuelve el 87% del calor al ambiente en lugar del espacio subyacente.

Reflectando la mayoría de los rayos solares se reducen las diferencias de temperatura de la cubierta entre el día y noche, verano e invierno. Una temperatura inferior más estable aumenta la durabilidad de la cubierta.



Figura 20. Ensayo de Cool Paint en la cubierta de Jaarbeurs en Utrecht (Alemania).

Además, una cubierta con la pintura Cool Paint reduce el efecto «isla de calor urbano». La temperatura media en entorno urbano es mayor que en el entorno rural lo que tiene efectos negativos sobre la calidad de vida de los habitantes e influye en el aumento de consumo de electricidad y las emisiones de CO<sub>2</sub>. Asimismo, el techo frío con la pintura Cool Paint permite ahorrar y proteger el medio ambiente.

### **2.2.3 Láminas Solarcheck® de DTI para edificios y comercios**

Las láminas adhesivas Solarcheck® protegen el interior del exceso de calor y deslumbramientos. Permiten mejorar el clima interior sin sacrificar la transparencia. Contribuyen al ahorro energético en cualquier época del año.

Las láminas adhesivas de protección solar y seguridad Solarcheck® se aplican sin obras ni molestias sobre todo tipo de acristalamientos. Una vez instaladas proporcionan una excelente protección solar al reducir la entrada de calor y rechazar hasta el 86% de la energía solar incidente. Reducen eficazmente los puntos calientes cerca de los ventanales aportando un apreciado confort a las personas y generando un notable ahorro en climatización.

#### **Previenen los daños personales derivados de la fragmentación.**

Ciertos tipos de vidrios tienen muy buenas prestaciones de seguridad, pero todos, sin excepción, son vulnerables. Pueden romperse con un determinado impacto. Las láminas de seguridad Solarcheck®, fabricadas en resistente poliéster de calidad óptica, han sido ensayadas y aprobadas por los principales organismos de certificación, pasando los ensayos más estrictos de impacto humano, simulación de huracanes, tormentas y ondas expansivas.

La rotura de vidrios en cualquier zona acristalada representa siempre un riesgo, pues las astillas y fragmentos proyectados pueden causar graves daños a las personas y objetos que se encuentran en su entorno. La combinación de lámina Solarcheck® de seguridad con el vidrio existente crea un producto nuevo que reúne las mejores cualidades del vidrio y las excepcionales cualidades del poliéster laminado frente al impacto.

#### **Protección U.V.**

Aunque invisibles, los rayos ultravioletas causan efectos nocivos, no sólo en nuestra piel, sino también en tejidos, mobiliario, objetos de arte, etc. Las láminas Solarcheck® filtran y reducen más de un 99% de la radiación U.V. que penetra a través de los acristalamientos y pueden reducir también hasta un 95% de los rayos infrarrojos solares. Reduciendo las radiaciones ultravioletas e infrarrojas contribuimos a preservar el conjunto de mobiliario y decoración expuestos, retrasando y reduciendo los efectos decolorantes del sol y su excesivo calor.

Las láminas Solarcheck® específicas para escaparates son virtualmente invisibles e inapreciables para el ojo humano una vez instaladas y no distorsionan la percepción de los colores de los artículos que se exhiben.



Figura 21. Ensayo de Cool Paint en la cubierta de Jaarbeurs en Utrecht (Alemania).

## 2.3 Organizaciones de Interés

Existen distintas organizaciones que se dedican a establecer cuando un producto es eficiente ante el consumo eléctrico, por lo cual protege el medio ambiente. Los “cool roof” hoy en día también son objeto de evaluación por estas organizaciones que mencionaremos.

### 2.3.1 Energy Star

Es un programa respaldado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA). Fue creado en 1992 para promover productos eléctricos eficientes en el consumo de electricidad, reduciendo las emisiones de gases con efecto invernadero. Es muy conocido internacionalmente porque su logotipo aparece en el arranque de la mayoría de ordenadores. Los objetivos por los cuales fue creada la etiqueta Energy Star fueron:

- Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes causados por el uso ineficiente de energía.
- Que sea fácil para los consumidores a identificar y comprar productos energéticamente eficientes que ofrecen descuentos en las facturas de energía sin sacrificar el rendimiento, las características y el confort.

### Requisitos Energy Star

Los productos de cubiertas, que quiera calificar como “cool roof”, para llevar la etiqueta de Energy Star, deben cumplir los requisitos mínimos iniciales y envejecidos establecidos por la organización de reflectancia solar. Sin embargo, esta organización no establece

mínimos de emitancia, aunque obliga a publicar estos valores en la etiqueta, para ayudar al consumidor en la decisión de su compra.

Energy Star establece que cuando un producto de cubierta que lleva su certificación, este puede llegar a reducir la temperatura del techo sobre los 10°C, lo que reduciría la carga en el consumo de energía eléctrica por aclimatación del aire acondicionado en un 10% a un 15% mínimo.

Aunque hay beneficios en el uso de techos reflectantes, antes de seleccionar un producto para techos pensando en el ahorro que este conllevará, por ser “cool roof” es importantes analizar los resultados esperados utilizando herramientas como la calculadora “Roof Saving Calculator” que se puede encontrar en la página web [www.roofcalc.com](http://www.roofcalc.com). Por favor, recuerde el ahorro energético que se puede conseguir con techos reflexivo es altamente dependiente del diseño de las instalaciones, el aislamiento utilizado, las condiciones climáticas, la construcción de la ubicación, y la eficiencia envolvente del edificio.

Los requisitos mínimos que deben cumplir los productos de techo que deseen obtener la etiqueta de Energy Star son los siguientes.

- Techos de pendiente baja deben tener una reflectancia solar inicial de  $\geq 0,65$ . Después de 3 años, la reflectancia solar debe ser  $\geq 0,50$ .
- Techos de pendiente pronunciada deben tener una reflectancia solar inicial de  $\geq 0,25$ . Después de 3 años, la reflectancia solar debe ser  $\geq 0,15$ .
- La garantía del producto debe ser igual que los productos que ofrece esta empresa para techos no reflectantes, o techos que no califiquen como “cool roof”.



Figura 22. Etiqueta que certifica un producto con esta organización.

### 2.3.2 US GREEN BUILDING COUNCIL'S LEADERSHIP IN ENERGY AND ENVIRONMENTAL DESIGN (LEED)

Las puntuaciones de reflectividad y emisividad han ganado mucho valor en el sistema de calificación LEED, así como en algunos códigos locales y estatales de construcción. La certificación LEED, da crédito a los “cool roof” que cumplan con los siguientes requisitos:

- **Opción 1: Índice de Reflectancia Solar.**

Utilizando un material de techo que tenga un Índice de Reflectancia Solar (SRI) mayor o igual a los valores dados a continuación, en un mínimo del 75% del techo:

- Para techos de poca pendiente, SRI mayor o igual a 78.
- Para techos de mucha pendiente, SRI mayor o igual a 29.

- **Opción 2: Instalar un techo verde al menos en el 50% del área total de cubierta.**
- **Opción 3: Instalar un techo reflectivo en combinación con un techo verde, cumpliendo los siguientes criterios:  $(\text{Área de SRI de techo}/0.75) + (\text{Área de techo Verde}/0.50)$  Mayor que = Área total de Techo.**

### 2.3.3 Otras Organizaciones

**The National Roofing Contractors Association**, es una de las asociaciones comerciales de la industria de la construcción y una voz autorizada en la industria del techado para la información, la educación, la tecnología y la promoción. Fundada en 1886, la NRCA es una asociación sin fines de lucro que representa a todos los segmentos de la industria del techado, incluidos los contratistas, fabricantes, distribuidores, arquitectos, consultores, ingenieros, propietarios de edificios y de la ciudad, el estado y las agencias gubernamentales.

**The Roofing Industry Alliance for Progress** se estableció en 1996 para mejorar la industria del techado, reuniendo a todos los segmentos de la industria para ayudar a financiar la investigación y los programas educativos; proporcionar respuestas de la industria a las principales cuestiones económicas y tecnológicas; y mejorar la viabilidad a largo plazo y el atractivo de la industria para los trabajadores de techado.

**The National Roofing Legal Resource Center (NRLRC)** está abierto a los trabajadores de techos y los contratistas de impermeabilización y actúa como defensor legal de los contratistas de techos en todas las cuestiones de EE.UU., tales como el lenguaje del contrato, relaciones con los empleados, el cumplimiento normativo, condiciones de pago, la cobertura del seguro, códigos y estándar pueden poner en peligro la rentabilidad de un contratista e incluso su existencia. NRLRC ofrece a sus miembros la asistencia al abordar cuestiones como éstas.

**The Center for Environmental Innovation in Roofing** es una organización sin fines de lucro para promover el desarrollo y uso de los sistemas de responsabilidad ambiental, de alto rendimiento de techo y tecnologías. Con sede en Washington, DC

Founded by the Center for Environmental Innovation in Roofing and Nationwide Roofing Contractors Association, **Roof Integrated Solar Energy (RISE) Inc.** was created to provide a means of evaluating and certifying solar roofing professionals to support the widespread use of rooftop solar energy. RISE evaluates and certifies solar energy installers for knowledge about critical roof system construction and maintenance practices necessary to support successful rooftop solar energy installations based on principles regarding the, installation and maintenance of rooftop solar energy systems without adversely affecting roof system performance and service life. RISE also provides the public with tools to identify skilled rooftop solar energy professionals.

Fundada por el Center for Environmental Innovation in Roofing y Nationwide Roofing Contractors Association, **Roof Integrated Solar Energy (RISE) Inc.** fue creado para proporcionar un medio para evaluar y certificar profesionales de techos solares y para apoyar el uso generalizado de la energía solar en la azotea. RISE evalúa y certifica los instaladores de energía solar para el conocimiento sobre la construcción del sistema de techo crítico y las prácticas de mantenimiento necesarias para apoyar la azotea con éxito las instalaciones de energía solar basados en los principios relativos a la instalación y mantenimiento de sistemas de energía solar en la azotea sin afectar negativamente el rendimiento del sistema de techo y vida útil. RISE también ofrece al público con herramientas para identificar profesionales expertos en techos que utilicen la energía solar.

**El Laboratorio Nacional Oak Ridge o (ORNL) (en inglés: Oak Ridge National Laboratory)** es un laboratorio nacional estadounidense de multiprogramas de ciencia y tecnología gestionado para el Departamento de Energía de los Estados Unidos por UT-Battelle, LLC. El ORNL está situado en Oak Ridge, Tennessee, cerca de Knoxville. Los científicos e ingenieros del ORNL dirigen tanto la investigación básica como la aplicada, para adquirir el conocimiento científico y establecer las soluciones tecnológicas que coadyuven a la capacidad técnica nacional en áreas claves de la ciencia; incrementen la disponibilidad de energía limpia y abundante; restauren y protejan el ambiente; y contribuyan a la seguridad nacional.



El ORNL también realiza otras funciones para el Departamento de Energía, incluyendo la producción de isótopos, la gestión de información, y el programa de administración técnica, y proporciona asistencia técnica y de investigación a otras organizaciones. Esta organización proporciona la calculadora de "cool roof".

## 2.4 WEBS de interés

### **<http://coolroofs.org/>**

El Cool Roof Rating Council fue creado en 1998 para desarrollar métodos precisos y fiables para la evaluación y el etiquetado de la reflectancia solar y la emitancia térmica (propiedades radiactivas) de productos para techos y para difundir la información a todas las partes interesadas.

El CRRC se incorpora como una organización educativa sin fines de lucro para implementar y comunicar con precisos sistemas de calificación de eficiencia energética de radiación para superficies de techos, apoyar la investigación, y servir como un recurso educativo para información sobre los techos.

### **<http://coolroofcouncil.eu/>**

El European Cool Roofs Council fue fundado en 2011 para desarrollar el conocimiento científico y la investigación en relación con la tecnología "techo frío" y promover el uso de productos frescos del techo y materiales en Europa, incluyendo el desarrollo de un programa de evaluación del producto para este tipo de productos y materiales.

Esta es una asociación europea sin ánimo de lucro cuyas iniciativas son impulsadas y pagada por sus miembros. Es una organización voluntaria que aporta valor mediante la promoción de los beneficios de los productos frescos de techos a los reguladores, legisladores, consumidores y otras partes interesadas.

El ECRC también tiene la intención de permitir que los productos frescos del techo sean identificados a través de la creación de un sistema de acreditación.

### **<http://www.energy.ca.gov/title24/>**

La Comisión de Energía de California es la política energética y la planificación de la agencia principal del estado. Establecido por la Legislatura en 1974 y con sede en Sacramento.

**<http://www.epa.gov/heatisland/mitigation/coolroofs.htm>**

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) es una agencia del gobierno federal de Estados Unidos que fue creado con el propósito de proteger la salud humana y el medio ambiente y hacer cumplir los reglamentos sobre la base de las leyes aprobadas por el Congreso. El EPA fue propuesta por el presidente Richard Nixon y comenzó la operación el 2 de diciembre de 1970, después de que Nixon firmó una orden ejecutiva. La orden establece la EPA fue ratificado por audiencias de los comités de la Cámara y el Senado. La agencia está dirigida por su Administrador, que es nombrado por el presidente y aprobado por el Congreso. El administrador actual es Gina McCarthy. La EPA no es un gabinete de departamento, pero normalmente, el administrador tiene rango ministerial.

## **2.5 Comentarios sobre el Estado del Arte**

Los “cool roof” están bastante estudiados hoy en día, pero existe mucha confusión de parte de los usuarios inexpertos en el tema, sobre sus beneficios. Su auge se debe a la preocupación generalizada que existe hoy en día por cuidar el medio ambiente, debido al nivel de deterioro que el ser humano le ha causado. Los “cool roof” son vendidos como un mecanismo más para cuidar y recuperar el medio ambiente. Pero es importante tener precaución a la hora de analizar y determinar si una edificación determinada obtendría beneficios de su utilización, porque de ser utilizado cuando es contra indicado, podemos llegar a perjudicar más que al no utilizarlo, tanto a nivel económico, como a nivel medio ambiental. Estos pueden ser utilizados, siempre y cuando un análisis previo, determine que el ahorro a nivel de climatización en época de calor, será superior a la carga extra que esto supondrá en invierno por la utilización de calefacción, ya que al refrescar el techo en verano, también en invierno hará la misma tarea, siendo esta perjudicial para obtener el confort en esta época. Por lo tanto los beneficios obtenidos en tiempo de calor tendrán que ser tales, que cuando se realice un balance general de todo un año, se obtengan beneficios notables. Es importante que sea un especialista en el tema que determine si se puede optar por aplicar un “cool roof” ya que como hemos estudiado, su funcionamiento, para que produzca beneficios notables, es objeto de muchos análisis.

Es beneficioso para el tema, que ya en el mercado existen muchos productos, de fácil aplicación, que pueden acercar una cubierta existente a los que llamamos un “cool roof”, con la simple aplicación de pigmentos reflectante, y muchos de estos son avalados por organizaciones reconocidas, pero al mismo tiempo estos productos, por los accesibles que resultan para los usuarios, pueden conllevar a aplicarse en zonas donde produciría notables desventajas.



### 3. Hipótesis

El interés de esta investigación se centra específicamente en proponer la utilización de “cool roof” con desechos de cristales provenientes del reciclaje. Esto provocaría hipotéticamente un mayor beneficio medio ambiental, comparándolos con los materiales utilizados en el mercado actual para los techos frescos.

Los beneficios que suponemos a priori que obtendríamos, en caso de que la propuesta de utilizar vidrios provenientes del reciclaje produjera una disminución notable y competitivo frente a los materiales actuales en el mercado, en el calentamiento de la cubierta, serían mayores, ya que habría que agregarle que para producir este “cool roof”, se obtendría el material proveniente del reciclaje, conllevando los beneficios que produce esta práctica como agregado.

Por lo tanto, de este proyecto, suponemos los siguientes enunciados, que esperamos cumplir:

1. Por la naturaleza reflectante del vidrio, se producirá una disminución de la temperatura de la cubierta.
2. Por las formas curvas que tienen los triturados amorfos de cristales, debido a que provienen en su mayoría, de objetos de uso cotidianos, en su mayoría envases de conservación de distintos tipos de alimentos, podemos esperar que se originarían micro cámaras, que colaborarán con la reflexión, para que combinándose se obtengan mayores disminuciones de temperatura en la cubierta plana.
3. Por los distintos colores que utilizaremos de vidrios reciclados, esperamos que los más claros, que permiten el paso de la radiación solar, tengan un rendimiento más bajo, mientras que los colores que no permitan el paso de la luz solar, obtendrían mejores beneficios en cuanto al enfriamiento de la cubierta.

4. Cubriendo con una capa de los triturados amorfos de vidrio proveniente de reciclaje una cubierta plana, se obtendrá un mejor confort térmico en el interior del edificio, frente a otros materiales convencionales de cubiertas.
5. Con la utilización de la capa de triturados amorfos de vidrio proveniente del reciclaje, podremos reducir la cantidad de aislamiento térmico de la cubierta, significando otro ahorro agregado a los beneficios económicos y medio ambientales del “cool roof” y del reciclaje.
6. El color en el vidrio es parte influyente en el comportamiento térmico del mismo.

## 4. Metodología Aplicada

Luego de explicar cómo funcionan, en que benefician, las ventajas, las desventajas y lo que esperamos como resultado del proyecto de investigación, entramos en la fase experimental, la cual consta de varias fases:

### 4.1 Primera Fase

#### 4.1.1 Proceso de Campo

Se harán comprobaciones reales con diferentes tipos de vidrios reciclados amorfos. Las muestras de los materiales se depositarían en la cubierta de la ETSAV y se medirían las temperaturas en la cara inferior del material.

A partir de este dato deduciríamos cuál de los materiales refleja mejor la radiación solar y por lo tanto calienta menos las capas inferiores y consecuentemente produce un ahorro en la climatización en los meses de más calor.

Las muestras de materiales se colocarán en un recipiente de madera que permita el paso del aire, y que influya lo menos posible en las muestras, que a su vez se colocarán en la cubierta de la ETSAV, como se muestra en la figura ASASKASK. Estas cajas tendrán instalados en su cara inferior unas sondas que medirán las temperaturas cada 15 minutos. Estas comprobaciones se harán en los meses de Junio, y Julio, que es cuando

la radiación solar es influye sobre estos materiales con más intensidad. Estos datos los recolectaremos con los dataloggers y el software de la casa TESTO, cada 15 días, para comprobar que no hayan errores, ni se hayan desprendidos las sondas que toman la temperatura.



Figura 23. Cajas para depositar los materiales.



Figura 24. En tres de las cubiertas marcadas en amarillo se colocarán las muestras.

En la Cubierta 1, las cajas del 1 al 4 se colocarán 4 tipos de vidrios obtenidos en la planta recicladora Santos Jorge S.A. del cual serán recolectados los datos con el datalogger A, en la Cubierta 2 se colocarán 4 cristales similares en forma y granulometría, pero con diferentes colores del cual serán recolectados las temperaturas cada 15 minutos con el datalogger B y en la Cubierta 3 se colocarán dos materiales de uso común en cubiertas para poder utilizarlo como comparativas recolectando sus datos con el datalogger C. Como se observa en la imagen, cada techo tendrá su propio datalogger, para la obtención de los datos. Cada datalogger puede realizar hasta 4 tomas de temperatura.

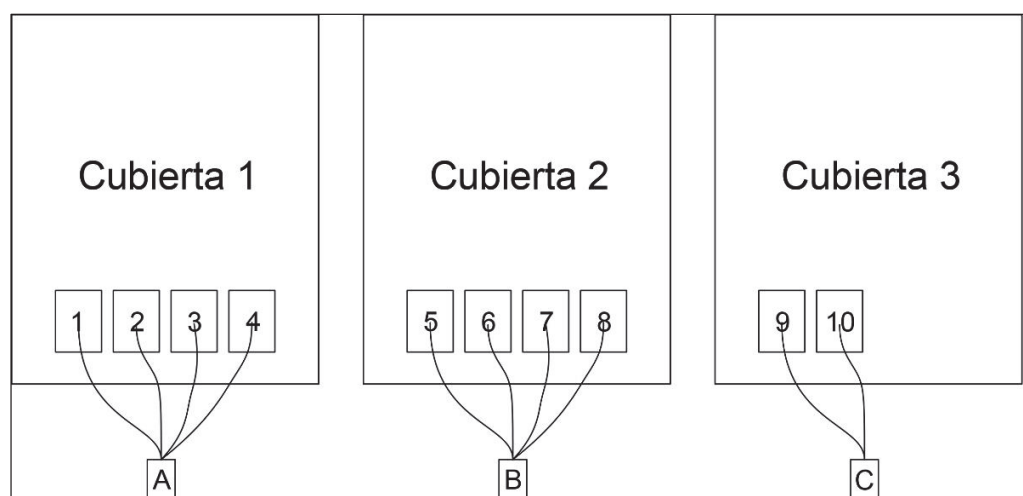


Figura 25. Se muestra como serán colocados los materiales para la experimentación.

La sonda que medirá la temperatura será colocada en el fondo de la caja de madera, luego se le agregará una capa del material que cubra unos 5 centímetros, para luego ser colocadas cada caja en las cubiertas que se puede observar en la figura 26.

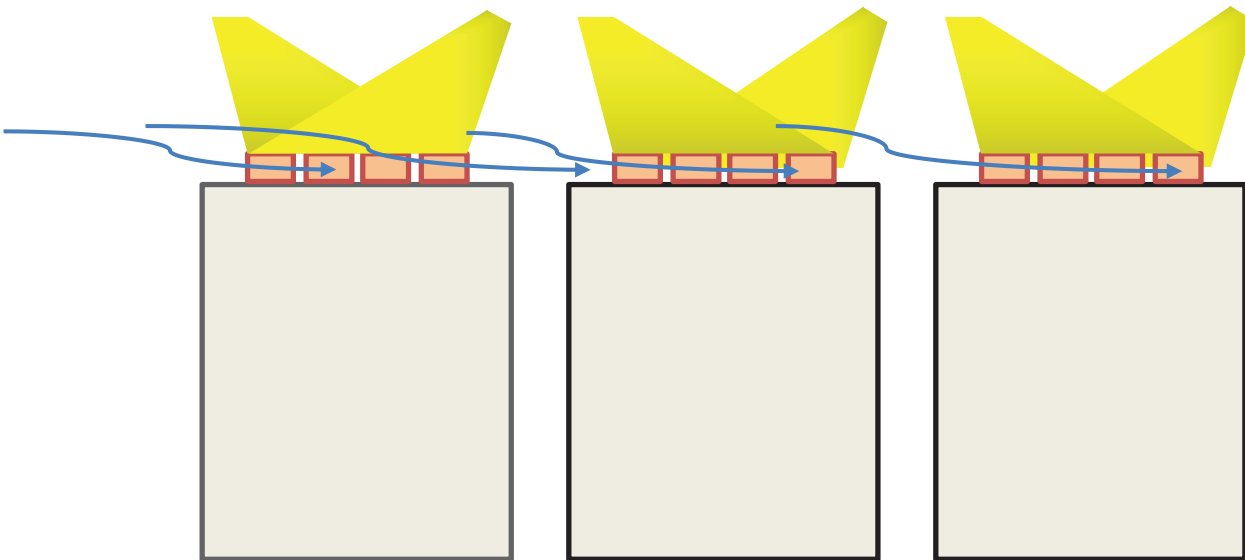


Figura 26. Se muestra en la imagen como se espera que interactúen las cajas con los materiales depositados, con la radiación solar y el viento.



Figura 27. Se muestran los recipientes colocados en cada cubierta.



En las figuras 28 y 29 se muestran los materiales a colocar respectivamente en el Techo 1 y en el Techo 2. El primero con los 3 primeros materiales provenientes del reciclaje, siendo el cuarto material, una mezcla de los 4 materiales utilizados en el techo 2.



Figura 28. Se muestran los materiales depositados en el Techo 1.










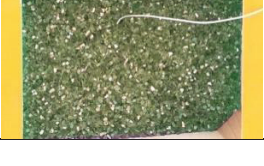
Figura 29. Se muestran los materiales depositados en el Techo 2.



Por último, en un tercer techo, se colocaron materiales convencionales de cubierta para usarlo de referencia, y así poder comparar las ventajas que podrían ofrecer los triturados de vidrios amorfos proveniente del reciclaje, frente a una cubierta común. Este techo sirve simplemente de base comparativa, sus resultados no serán objeto de análisis, pero sí de comparación. En la Figura 30 se muestra los dos materiales utilizados como base comparativa, estos también tienen una sonda conectada a un tercer datalogger, para poder calcular su temperatura cada 15 minutos.



Figura 30. Se muestran los dos materiales convencionales de cubierta utilizados para comparar.



#### 4.1.2 Materiales a Estudiar

Foto del Material	Nombre del Material	Núm. Techo y Canal
	Mezcla de Vidrio Decorativo. (IKEA Vidrio Blanco Plano)	Techo 1/Canal 1
	Topacio	Techo 1/Canal 2
	Vidrio Domestico	Techo 1/Canal 3
	Vidrio Blanco Plano	Techo 1/Canal 4
	Vidrio Decorativo Color Negro (IKEA)	Techo 2/Canal 1
	Vidrio Decorativo Violeta (IKEA)	Techo 2/Canal 2
	Vidrio Decorativo Gris/Aluminio (IKEA)	Techo 2/Canal 3
	Vidrio Decorativo Color Verde (IKEA)	Techo 2/Canal 4

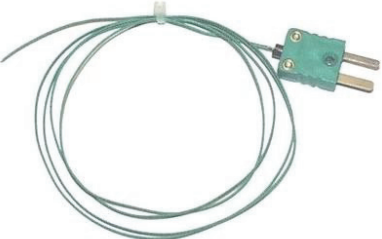


	Rasilla 14x28x1,3 cm.	Techo 3/Canal 1
	Grava Blanca	Techo 3/Canal 2

### 4.1.3 Instrumentación

Para la realización de la recolocación de datos serán utilizadas la siguiente instrumentación:

Foto del Instrumento	Nombre y Marca	Descripción
	Testo 177-T4	2 líneas; capacidad 4 canales; Batería 5 años; -200 a +1000°C; memoria 48,000 lecturas.
	Testo 176-T4	2 líneas; capacidad 4 canales; batería 8 años; -200 a +1000°C; memoria 2 millones de lecturas.



	<p>Sensores Tipo K (NiCr-Ni)</p>	<p>Hilo termo polar tipo K (NiCr-Ni) flexible; fibra de vidrio; Ø1.5 milímetros; rango de temperaturas - 50 a + 400°C.</p>
	<p>Testo Comsoft Basic 5</p>	<p>Software básico para la programación y lectura de los data loggers Testo; presentación de los valores en forma de gráfica o tabla y funciones de exportación.</p>
	<p>Estación Meteorológica CAR-Sant Cugat del Vallès</p>	<p>Este equipamiento dispone de sensores de interés meteorológico para la medida de la temperatura y la humedad relativa del aire, la irradiancia solar global, la dirección y velocidad del viento, y la precipitación.</p> <p>Los datos suministrados por todos estos sensores se registran cada 30 minutos, y se envían a la sede central del SMC cada media hora a través de comunicaciones GPRS.</p>

Cabe Destacar, que la estación meteorológica CAR-Sant Cugat del Vallès, toma datos cada 30 minutos, los dataloggers toman datos cada 15 minutos, por lo cual será fácil el cruce de datos obtenidos por ambos.

## 4.2 Segunda Fase

En esta fase se analizarán los datos obtenidos, y se realizarán graficas de radiancia-temperatura exterior-temperatura inferior. El programa de la casa Testo, Comsoft Basic 5,

nos proporciona los datos tabulados y unas graficas de temperatura-tiempo, para tomar una primera impresión de los datos obtenidos. En la imagen SJASDJASD se muestra algunos datos tabulados por hora, divididos por columnas según el canal de la sonda y en la parte superior el gráfico, mostrando con colores diferentes los canales de medición, Esto datos serán exportados para analizarlos y realizar gráficas para estudiar los resultados obtenidos.

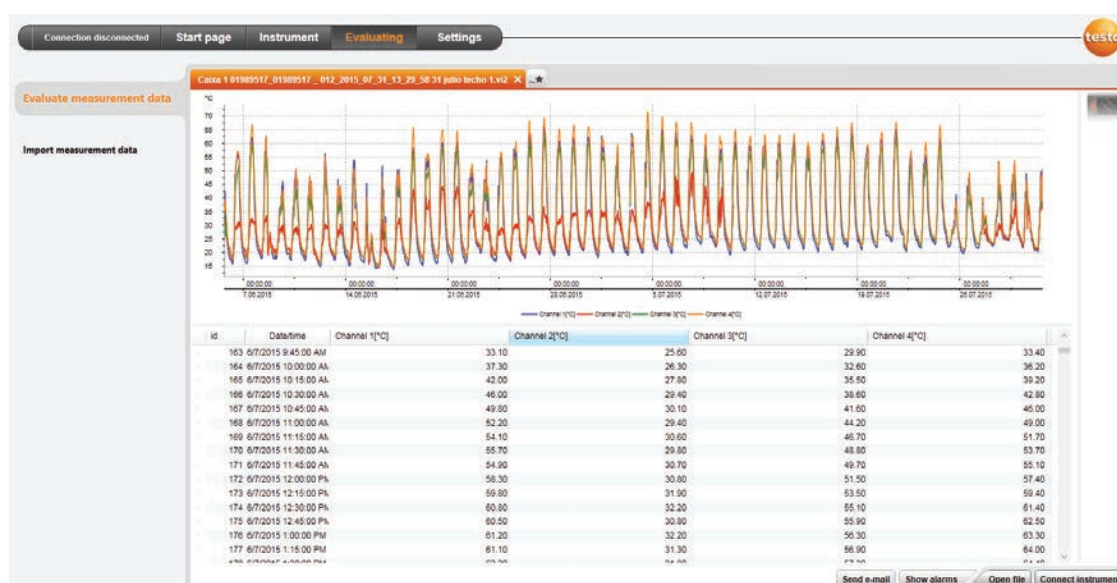


Figura 31. Se muestra la ventana donde se cargan todos los datos dividido por canal, en cada columna. Cada fila muestra un dato obtenido cada 15 minutos. En la parte superior se muestra un gráfico preliminar que el programa ofrece según la temperatura que alcanzó el canal a través del tiempo.

### 4.3 Tercera Fase

Una última fase en la cual se sacarán las conclusiones de los resultados obtenidos, y se determinará cuáles son los materiales que mejor se han comportado. Se obtendrá un material que ganador, con el cual si los resultados son satisfactorio se podrán hacer sugerencias en su uso.

## **5. Análisis de los Resultados**

### **5.1 Análisis Introductorio de Datos**

Los datos obtenidos en los meses de Junio, Julio y Agosto del año 2015, serán analizados en este capítulo, utilizando gráficas que muestren el comportamiento de los materiales a través del día, y podremos hacer comparaciones y cruzar los datos con los obtenidos de la estación meteorológica.



Cabe recordar, que en cada datalogger y cada canal del mismo será utilizado siempre para el mismo material, techo 1 de vidrios reciclados, techo 2 de vidrios decorativos y techo 3 de materiales convencionales de cubierta. Cada canal representa siempre un material que son los siguientes:

1. Techo 1 (Vidrios Reciclados Proveniente del Reciclaje)
  - i) Canal 1: Mezcla de Vidrio Decorativo (IKEA)
  - ii) Canal 2: Topacio
  - iii) Canal 3: Vidrio Domestico
  - iv) Canal 4: Vidrio Blanco Plano
  
2. Techo 2 (Vidrios Decorativos por Color IKEA)
  - i) Canal 1: Vidrio Decorativo Color Negro (IKEA)
  - ii) Canal 2: Vidrio Decorativo Violeta (IKEA)
  - iii) Canal 3: Vidrio Decorativo Gris/Aluminio (IKEA)
  - iv) Canal 4: Vidrio Decorativo Verde (IKEA)
  
3. Techo 2 (Materiales Convencionales de Cubiertas)
  - i) Canal 1: Rasilla 14x28x1.3 cm.
  - ii) Canal 2: Grava Blanca

## **5.2 Análisis Global de Junio-Julio-Agosto (Total del Tiempo experimentado)**

### **5.2.1 Techo 1 (Vidrios provenientes del Reciclaje)**

Como primer acercamiento a los resultados obtenidos, veremos una gráfica general del comportamiento de cada techo Temperatura-Fecha/Hora, a través de los meses Junio-Julio, con tomas de cada 15 minutos, lo que nos dará como resultado, una gráfica muy extensa, en la cual será difícil tomar un valor específico, pero que veremos una línea del

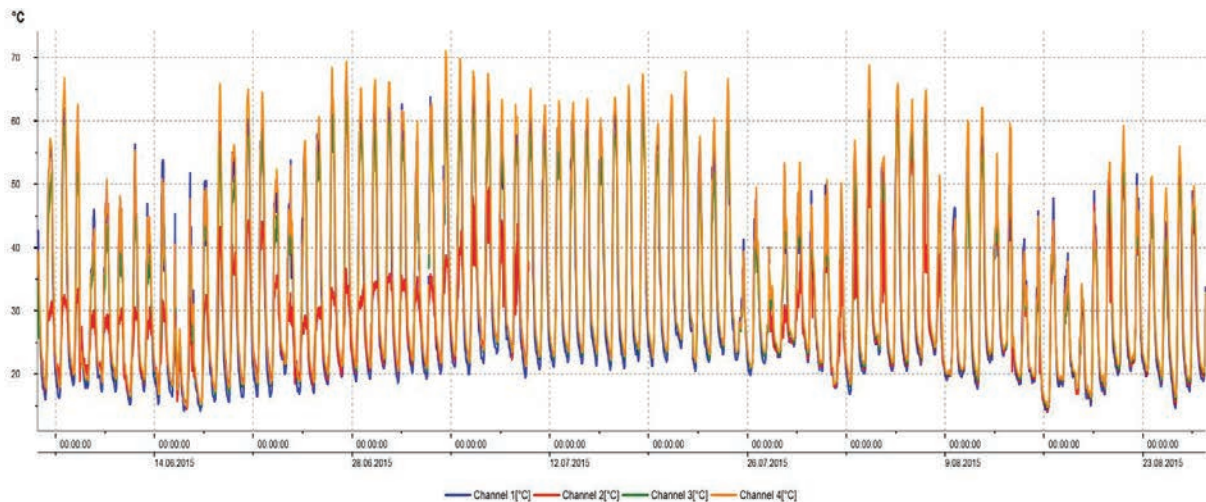
tiempo variable, que nos dará una primera impresión de cómo se comportaron cada material. Este primer análisis lo realizaremos del Techo 1, el cual está compuesto por los materiales provenientes del reciclaje.

El programa de TESTO, para descargar los datos de temperatura obtenidos, nos ofrece un reporte y una gráfica preliminar que son las siguientes:

Instrument name: Caixa 1 01989517		30-08-15 19:05		
Start time: 5/6/2015 5:15:00 PM		Minimum	Maximum	Mean value
End time: 27/8/2015 10:30:00 AM	Channel 1 [°C]	13.9	66.6	31.621
Measurement channels: 4	Channel 2 [°C]	14.1	60.5	27.614
Measured values: 7942	Channel 3 [°C]	14.5	64.4	31.64
C1: SN 01989517 / 012	Channel 4 [°C]	14.6	71.3	33.329

De esta tabla podemos sacar las siguientes afirmaciones:

- 1. El canal 4, que es el vidrio plano transparente, alcanzó el pico máximo de temperatura.**
- 2. El canal 2, que es el Topacio, fue el que obtuvo una temperatura máxima menor.**
- 3. El canal 1, que es la mezcla de vidrios decorativos, fue el que alcanzó una temperatura mínima más baja.**
- 4. El canal 2, el Topacio, fue el mantuvo un promedio más bajo.**



Gráfica 1. Se muestra la gráfica del techo 1 de Junio, Julio y Agosto. Ver Anexo GRÁFICOS TECHOS 1 JUNIO-JULIO-AGOSTO.

Lamentablemente la gráfica es muy extensa, está compuesto por datos de temperatura tomados cada 15 minutos durante 3 meses, pero de esta podemos observar a rasgos generales lo siguiente:

1. Cada día existen picos de temperaturas, tanto a altas, como bajas temperatura, lo que llamamos una fluctuación diaria del gráfico.
2. Estas picos comprenden la hora más caliente y la más fría a través de un día de 24 horas.
3. Podemos tener 24 horas entre dos picos, aproximadamente.
4. Hay 4 canales tomando temperaturas, a modo general se ve que uno solo se comporta diferente, cortando los picos a mitad de recorrido.
5. Este canal (Canal 2), el cual su material es el Topacio, podemos inferir de primera impresión que se calienta menos.

#### Conclusiones de estas observaciones:

1. El que mantuvo temperaturas más frescas estos 3 meses en promedio fue el Topacio (Canal 2).
2. El que mantuvo temperatura más caliente estos 3 meses en promedio fue el Vidrio Plano Transparente (Canal 4).

3. El Topacio (Canal 2) mantuvo promedio una temperatura de 27.6°C, mientras que su más cercano competidor estuvo promediando 31.6°C, 4°C promedio por encima.
4. La mínima temperatura alcanzada por un material fue por el Vidrio Plano Transparente, de 13.9°C, aunque muy cerca estaba el Topacio a 14. °C.
5. Realizando una sumatoria de las temperaturas acumuladas obtenemos que:
  - El Canal 1 sumó 250947.2°C totales.
  - El Canal 2 sumó 173857.2°C totales.
  - El Canal 3 sumó 251098.7°C totales.
  - El Canal 4 sumó 264501.6°C totales.
  -

Lo cual representa 77,090°C, ahorrados del Topacio a su más cercano competidor que es la mezcla de vidrios decorativos del Canal 1. [Ver Anexo CD: TABLA Techo 1 (Vidrios Reciclados JUNIO-JULIO-AGOSTO)]

### 5.2.2 Techo 2 (Vidrios Decorativos por Color IKEA)

En este segundo techo, también compuesto por 4 canales, esta vez de vidrios de similar granulometría, pero con diferentes colores, queremos analizar cómo afecta el color en el comportamiento térmico y reflectivo del vidrio. Por lo que esperamos saber si variando su color, podemos mejorar su comportamiento, evitando subir grados de temperatura. La tabla de resumen que nos ofrece el programa de TESTO es la siguiente:

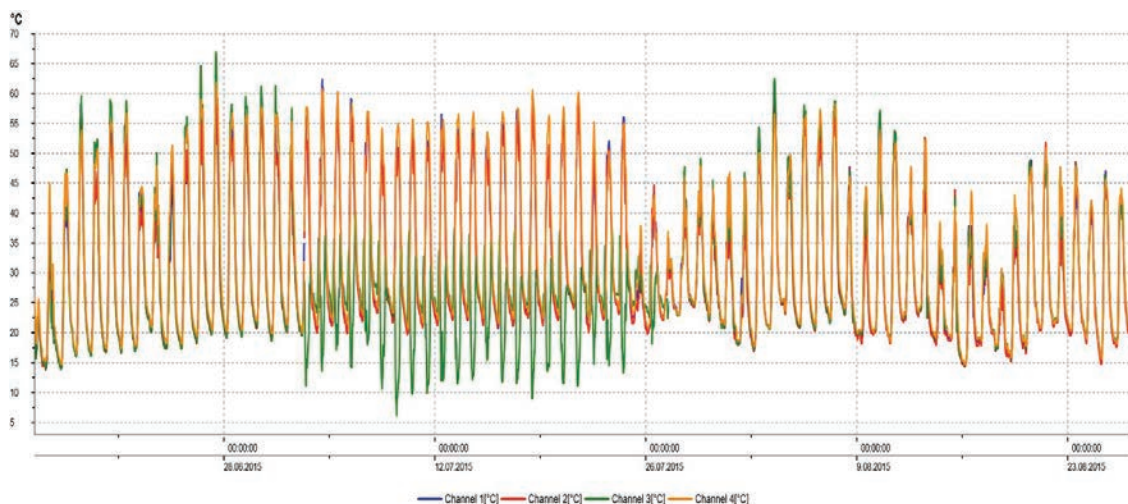
Instrument name: Caixa 0 01989454			30-08-15 19:07		
Start time: 15/6/2015 10:30:00 AM		Minimum		Maximum	Mean value
End time: 27/8/2015 8:30:00 AM	Channel 1 [°C]	13.7		62.4	30.935
Measurement channels: 4	Channel 2 [°C]	13.5		60.7	30.051
Measured values: 7001	Channel 3 [°C]	6		67	27.955
C1: SN 01989454 / 012	Channel 4 [°C]	14.5		61.9	31.79

De esta tabla podemos sacar las siguientes afirmaciones:

1. El canal 3, que es el de color Gris/Aluminio, alcanzó el pico máximo de temperatura.
2. El canal 2, que es el de color violeta, fue el que obtuvo una temperatura máxima menor.

3. El canal 3, que es el color Gris/Aluminio, fue el que alcanzó una temperatura mínima más baja.
4. El canal 3, el de color Gris/Aluminio, fue el que mantuvo un promedio más bajo.

De igual modo la gráfica del techo 2 es la siguiente:



Gráfica 2. Se muestra la gráfica del techo 2 de Junio, Julio y Agosto. Ver Anexo GRÁFICOS TECHOS 2 JUNIO-JULIO-AGOSTO.

Lamentablemente la gráfica es muy extensa, está compuesto por datos de temperatura tomados cada 15 minutos durante 3 meses, pero de esta podemos observar a rasgos generales lo siguiente:

1. Cada día existen picos de temperaturas, tanto a altas, como bajas temperatura, lo que llamamos una fluctuación diaria del gráfico.
2. Estas picos comprenden la hora más caliente y la más fría a través de un día de 24 horas.
3. Podemos tener 24 horas entre dos picos, aproximadamente.
4. Hay 4 canales tomando temperaturas, a modo general se ve que todos los canales se comportan de manera muy similar, ninguno hace una recorrido muy diferente. Nota: en un tramo del experimento, una sonda se desconectó por efectos del viento o la lluvia, por eso se ve que el canal 3, de color verde, durante un rango de tiempo hace picos hacia abajo. Esos datos no los consideraremos en el análisis.

5. Podemos inferir de primera impresión que los 4 canales se comportan de manera muy cercana.

**Conclusiones de estas observaciones:**

1. El que promedió temperaturas más frescas estos 3 meses fue el color Gris/Aluminio.
2. El que promedió la temperatura más caliente estos 3 meses fue el Canal 4, el color verde.
3. El Gris/Aluminio mantuvo promedio una temperatura de 27.95°C, mientras que su más cercano competidor estuvo promediando 30.05°C, 2.1°C promedio por encima.
4. La mínima temperatura alcanzada por un material fue por el Canal 3, Gris/Aluminio, de 6°C y la más alta también de 67°C, lo que se traduce a que en la hora pico, es el que más afecta al confort interior, ya que alcanza una mayor temperatura, pero también es el que más se enfría y el que promedio mantiene la temperatura más baja.
5. Realizando una sumatoria de las temperaturas acumuladas obtenemos que:
  - El Canal 1 sumó 216511.3°C totales.
  - El Canal 2 sumó 210324.6°C totales.
  - El Canal 3 sumó 195656.5°C totales.
  - 
  - El Canal 4 sumó 222500.8°C totales.

Lo cual representa 14,669.1°C, ahorrados del Canal 3, Gris/Aluminio a su más cercano competidor que es el color Violeta del Canal 2. [Ver Anexo CD: TABLA Techo 2 (Vidrios Decorativos por Color IKEA JUNIO-JULIO-AGOSTO)]

### 5.2.3 Techo 3 (Materiales Convencionales de Cubierta)

En este tercer y último techo, compuesto por 2 canales, tratamos de utilizarlos como punto de referencia comparativa con los vidrios. Son dos materiales convencionalmente utilizados en cubiertas, por lo cual en esta primera etapa solo veremos cómo se comportaron, para luego compararlos con los otros materiales.

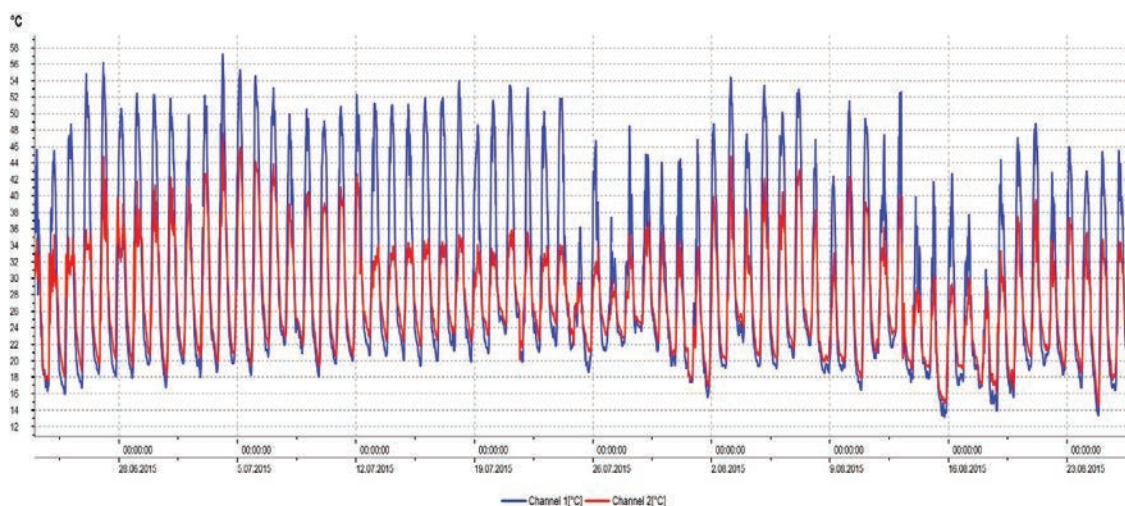
La tabla de resumen que nos ofrece el programa de TESTO es la siguiente:

Instrument name: Caixa 2			30-08-15 19:10		
Start time: 6/23/2015 12:30:00 AM		Minimum		Maximum	Mean value
End time: 8/26/2015 11:30:00 PM	Channel 1 [°C]	13		57.3	29.689
Measurement channels: 2	Channel 2 [°C]	14.5		47.7	27.25
Measured values: 6237					
SN 40705703					

De esta tabla podemos sacar las siguientes afirmaciones:

1. El canal 1, que es la rasilla, alcanzó el pico máximo de temperatura.
2. El canal 2, que es la grava blanca, fue el que obtuvo una temperatura máxima menor.
3. El canal 1 fue el que alcanzó una temperatura mínima más baja.
4. El canal 2, fue el mantuvo un promedio más bajo.

De igual modo la gráfica del techo 3 es la siguiente:



Gráfica 3. Se muestra la gráfica del techo 3 de Junio, Julio y Agosto. Ver Anexo GRÁFICOS TECHOS 3 JUNIO-JULIO-AGOSTO.



Lamentablemente la gráfica es muy extensa, está compuesto por datos de temperatura tomados cada 15 minutos durante 3 meses, pero de esta podemos observar a rasgos generales lo siguiente:

1. Cada día existen picos de temperaturas, tanto a altas, como bajas temperatura, lo que llamamos una fluctuación diaria del gráfico.
2. Estas picos comprenden la hora más caliente y la más fría a través de un día de 24 horas.
3. Podemos tener 24 horas entre dos picos, aproximadamente.
4. Hay 2 canales tomando temperaturas, a modo general se ve que los dos canales utilizados en este techo se comportan de manera similar, haciendo sus picos en altas y bajas temperaturas, pero el canal 2 de color rojo, acorta su recorrido un poco más arriba de la mitad del recorrido del azul. Nota: este techo fue colocado a partir del 23 de Junio, cuando por sugerencia del asesor fue puesto en marcha.
5. Podemos inferir de primera impresión que los dos canales se comportan de manera muy diferente térmicamente hablando.

#### **Conclusiones de estas observaciones:**

1. El que promedió temperaturas más frescas estos 3 meses fue el canal 2, la grava blanca.
2. El que promedió la temperatura más caliente estos 3 meses fue el Canal 1, la rasilla.
3. La rasilla mantuvo promedio una temperatura de 29.69°C, mientras que la grava blanca 27.25°C, 2.44°C de diferencia promediaron.
4. La mínima temperatura alcanzada por un material fue por el Canal 1, la rasilla, de 13°C y la más alta también de 57.3°C, lo que se traduce a que en la hora pico, es el que más afecta al confort interior, ya que alcanza una mayor temperatura, pero también es el que más se enfría, aunque de noche no es cuando más importa si el pico es invertido para ambos caso, rondando cerca las mismas temperaturas.

5. Realizando una sumatoria de las temperaturas acumuladas obtenemos que:

- El Canal 1 sumó 185108.5°C totales.
- El Canal 2 sumó 169902.6°C totales.

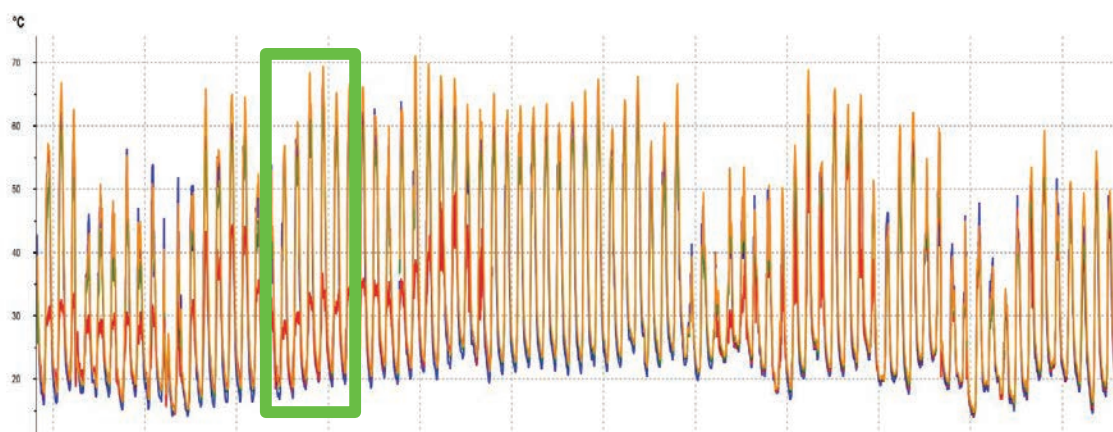
Lo cual representa 15,205.9°C, ahorrados del Canal 2, frente al Canal 1 (La grava ahorró esta cantidad frente a la rasilla). [Ver Anexo CD: TABLA Techo 3 (Materiales Convencionales de Cubierta JUNIO-JULIO-AGOSTO)]

## 5.3 Análisis del Solsticio

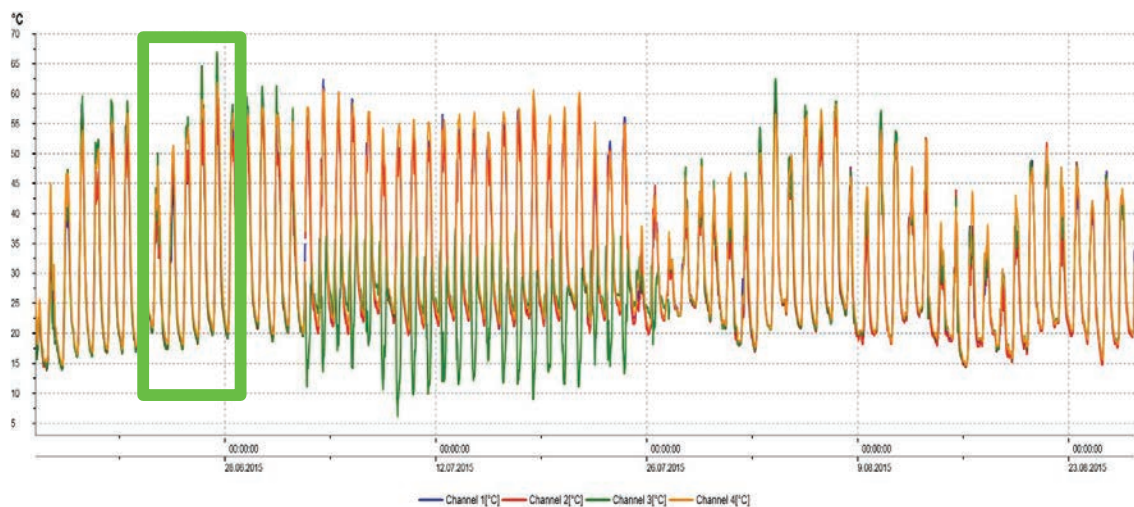
### 5.3.1 Introducción al Análisis del Solsticio

Debido a que la extensión de la gráfica y de las tablas por la cantidad de datos obtenido no nos permite hacer un análisis exhaustivo de los datos obtenidos, haremos un primer acercamiento marcando unos límites alrededor de los días del solsticio de verano, 23 de Junio, cuando el sol alcanza su mayor altura, y así poder hacer un análisis alrededor de estos días, a manera de que nos permita acercarnos más a lo que sucede con cada material. Luego se seguirán haciendo acercamientos.

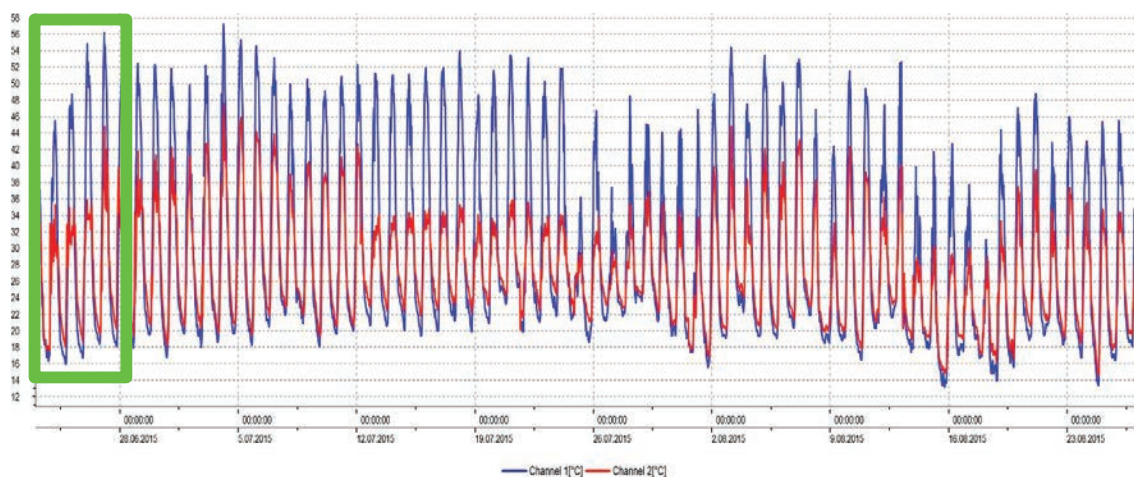
En la gráfica se muestra en cada techo los días que analizaremos, los datos están tabulados de forma independiente, para analizarlos como un grupo de datos aparte, y que el total general no afecte estos días. [Ver anexo tablas: Techo 1 (Vidrios Reciclados) SOLSTICIO, Techo 2 (Vidrios Decorativos por Color IKEA) SOLSTICIO, Techo 3 (Materiales Convencionales de Cubierta) SOLSTICIO]



Gráfica 4. Se muestra la zona del solsticio a estudiar del techo 1 de Junio, Julio y Agosto. Ver Anexo GRÁFICOS TECHOS 1 SOLSTICIO.



Gráfica 5. Se muestra la zona del solsticio a estudiar del techo 2 de Junio, Julio y Agosto. Ver Anexo GRÁFICOS TECHOS 2 SOLSTICIO.



Gráfica 6. Se muestra la zona del solsticio a estudiar del techo 2 de Junio, Julio y Agosto. Ver Anexo GRÁFICOS TECHOS 3 SOLSTICIO.

### 5.3.2 Techo 1 (Vidrios provenientes del Reciclaje)

En este primer apartado, analizaremos el Techo 1, con los materiales provenientes del reciclaje, desde el día 23 de Junio hasta el día 28 de Junio. Partiremos desde el día del solsticio de verano, y le agregaremos unos días más para poder analizar el recorrido de la temperatura en las gráficas a través de unos días. Esto facilitará el análisis del comportamiento, ya que en la tabla de todos los datos completos, se dificulta su lectura por la extensión de días que se representan.

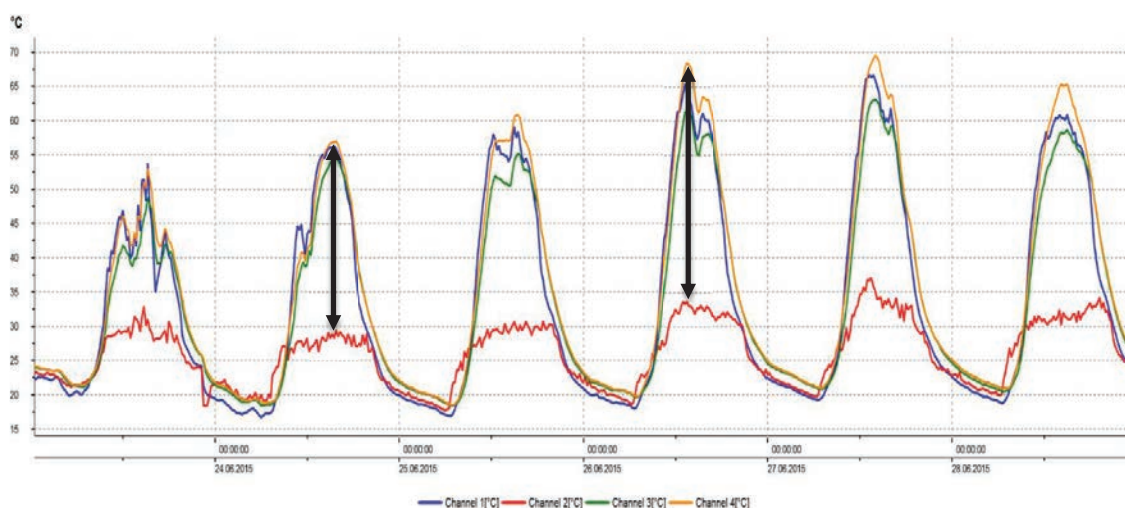
El programa de TESTO, para descargar los datos de temperatura obtenidos, nos ofrece un reporte y una gráfica preliminar que son las siguientes para estos días alrededor del solsticio:

Instrument name: Caixa 1 01989517			31-08-15 9:02		
Start time: 23/6/15 12:30:00 AM		Minimum		Maximum	Mean value
End time: 28/6/15 11:45:00 PM	Channel 1 [°C]	16.7		66.6	33.474
Measurement channels: 4	Channel 2 [°C]	17.7		37	25.95
Measured values: 574	Channel 3 [°C]	18.4		63.1	33.639
C1: SN 01989517 / 012	Channel 4 [°C]	18.5		69.5	35.288

De esta tabla podemos sacar las siguientes afirmaciones:

1. El canal 4, que es el vidrio plano transparente, alcanzó el pico máximo de temperatura.
2. El canal 2, que es el Topacio, fue el que obtuvo una temperatura máxima menor.
3. El canal 1, que es la mezcla de vidrios decorativos, fue el que alcanzó una temperatura mínima más baja.
4. El canal 2, el Topacio, fue el mantuvo un promedio más bajo.

Nota: todas las afirmaciones coinciden con las afirmaciones realizadas en el subcapítulo 5.2.1 Techo 1 (Vidrios provenientes del Reciclaje).



Gráfica 7. Se muestra la gráfica del techo 1 del solsticio y el aumento en la diferencia de los picos en las curvas del canal 2 con respecto a los demás canales. Ver Anexo GRÁFICOS TECHOS 1 SOLSTICIO.

Podemos observar de la gráfica a rasgos generales lo siguiente:

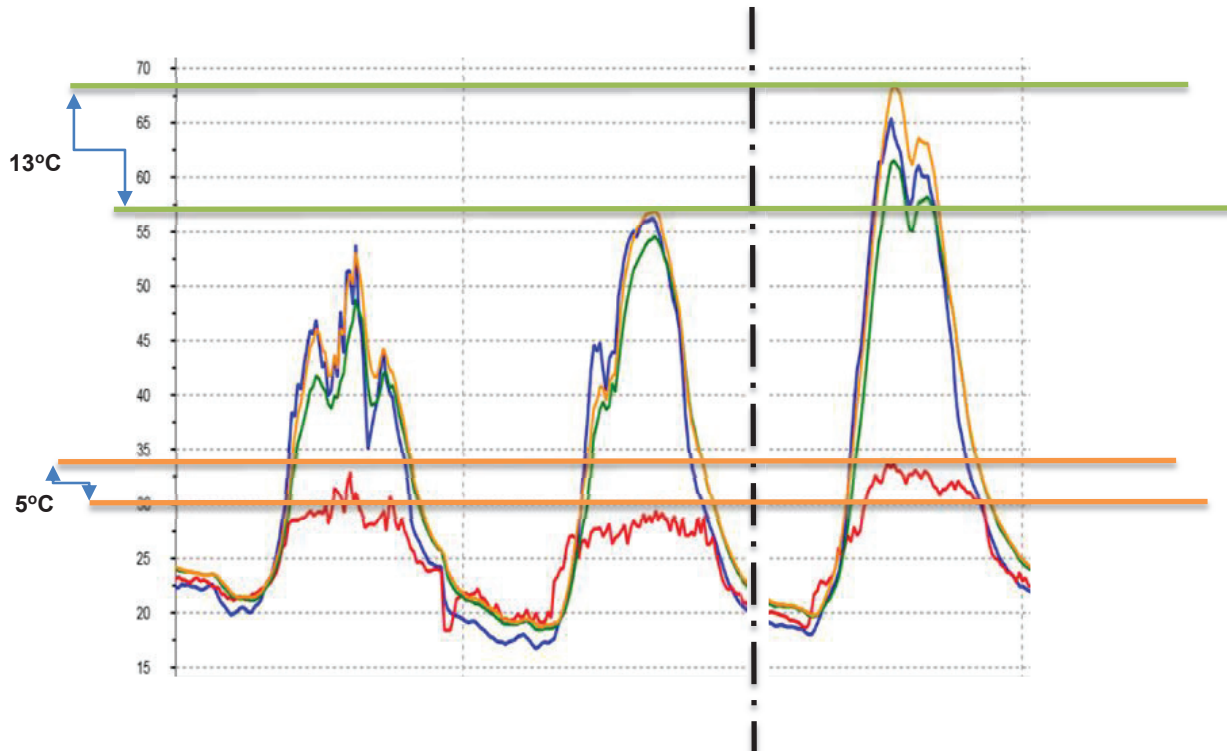
1. Cada día existen picos de temperaturas, tanto a altas, como bajas temperatura, lo que llamamos una fluctuación diaria del gráfico.
2. Estas picos comprenden la hora más caliente y la más fría a través de un día de 24 horas.
3. Podemos tener 24 horas entre dos picos, aproximadamente.
4. Hay 4 canales tomando temperaturas, a modo general se ve que uno solo se comporta diferente, cortando los picos a mitad de recorrido.
5. Este canal (Canal 2), el cual su material es el Topacio, podemos inferir de primera impresión que se calienta menos.
6. El recorrido de la curva del Canal 2, es acortado aproximadamente a la mitad del recorrido de los otros materiales.
7. Cuando el pico es más alto de los canales 1, 3 y 4, la diferencia existente entre el pico del canal 2 y los demás canales aumenta, ya que el canal 2 aumenta mínimamente su pico, pero los otros los hacen notablemente.

**Conclusiones de estas observaciones:**

1. El que mantuvo temperaturas más frescas estos en estos días en promedio fue el Topacio (Canal 2).
2. El que mantuvo temperatura más caliente estos en estos días en promedio fue el Vidrio Plano Transparente (Canal 4).
3. La temperatura máxima alcanzada por el Topacio (Canal 2) fue de 37°C y la del Vidrio Plano Transparente (Canal 4) fue de 69.5°C, por lo que aunque con los días fue aumentando la temperatura en el Canal 4, en el Canal 2 fue mínimo el aumento.



**Conclusión Grafica:**



Gráfica 8. Se muestra un análisis grafico de 3 días a partir del solsticio.

- Suponiendo que el aumento de los picos de temperatura se produjeron debido al aumento de la radiación solar o al aumento de la temperatura ambiente, cualquiera que sea su causa, que luego investigaremos, esto produjo un aumento de la temperatura en la cara inferior del material.
- Este aumento fue mayor para los canales 1, 3 y 4.
- En el canal 2 se produjo un aumento de menor proporción.
- Gráficamente podemos estimar que en el canal 2 se produjo un aumento de unos 4°C o 5°C, mientras en el canal 4 (amarillo), podemos estimar que se produjo un aumento de unos 13°C.
- Utilizando la tabla [Ver Anexo: TABLA SOLSTICIO TECHO 1] tomando los días 24 de Junio y 26 de Junio, podemos decir que el aumento de temperatura en el canal 2 fue de 29.4°C a 33.7°C, siendo un aumento de 4.3°C, mientras que

para el canal 4 el aumento que se produjo fue de 57°C a 68.5°C, siendo un aumento de 11.5°C.

Para finalizar, de esta última conclusión surge una pregunta: ¿A qué se debe la diferencia en la proporción aumentada entre un material y otro? Trataremos de averiguarlo analizando más gráficas y haciendo graficas que traten varias variables, como viento e irradiancia solar, y así determinar cuál de estas es la que más influye.

### 5.3.3 Techo 2 (Vidrios Decorativos por Color IKEA)

En esta parte del análisis de los datos obtenidos, estudiaremos el techo 2, el cual contiene los vidrios decorativos por colores, desde el día 23 de Junio hasta el día 28 de Junio. Partiremos desde el día del solsticio de verano, y le agregaremos unos días más para poder analizar el recorrido de la temperatura en las gráficas a través de unos días. Esto facilitará el análisis del comportamiento, ya que en la tabla de todos los datos completos, se dificulta su lectura por la extensión de días que se representan.

El programa de TESTO, para descargar los datos de temperatura obtenidos, nos ofrece un reporte y una gráfica preliminar que son las siguientes para estos días alrededor del solsticio:

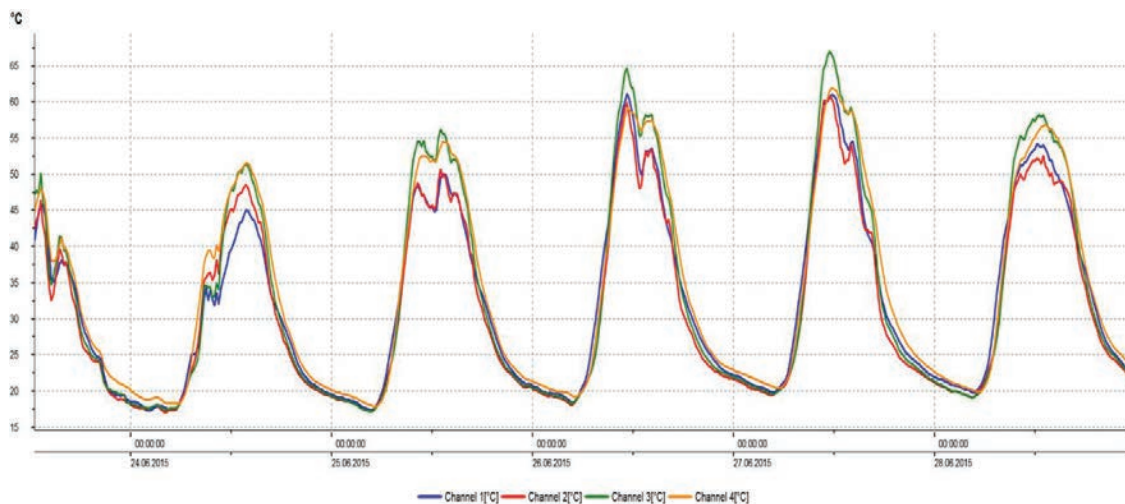
Instrument name: Caixa 0 01989454			30-08-15 19:49		
Start time: 23/6/2015 12:30:00 PM		Minimum		Maximum	Mean value
End time: 28/6/2015 11:45:00 PM	Channel 1 [°C]	17.3		61.1	32.062
Measurement channels: 4	Channel 2 [°C]	17.1		60.6	31.252
Measured values: 526	Channel 3 [°C]	17.2		67	32.921
C1: SN 01989454 / 012	Channel 4 [°C]	17.8		61.9	33.719

De esta tabla podemos sacar las siguientes afirmaciones:

1. El canal 3, que es el de color Gris/Aluminio, alcanzó el pico máximo de temperatura.
2. El canal 2, que es el de color violeta, fue el que obtuvo una temperatura máxima menor.
3. El canal 2, que es el color violeta, fue el que alcanzó una temperatura mínima más baja.
4. El canal 2, el de color violeta, fue el mantuvo un promedio más bajo.



Nota: existen diferencias en comparación con el sub capítulo 5.2.2 Techo 1 (Vidrios decorativos por color IKEA).



Gráfica 9. Se muestra la gráfica del techo 2 del solsticio. Ver Anexo GRÁFICOS TECHOS 2 SOLSTICIO.

Podemos observar de la gráfica a rasgos generales lo siguiente:

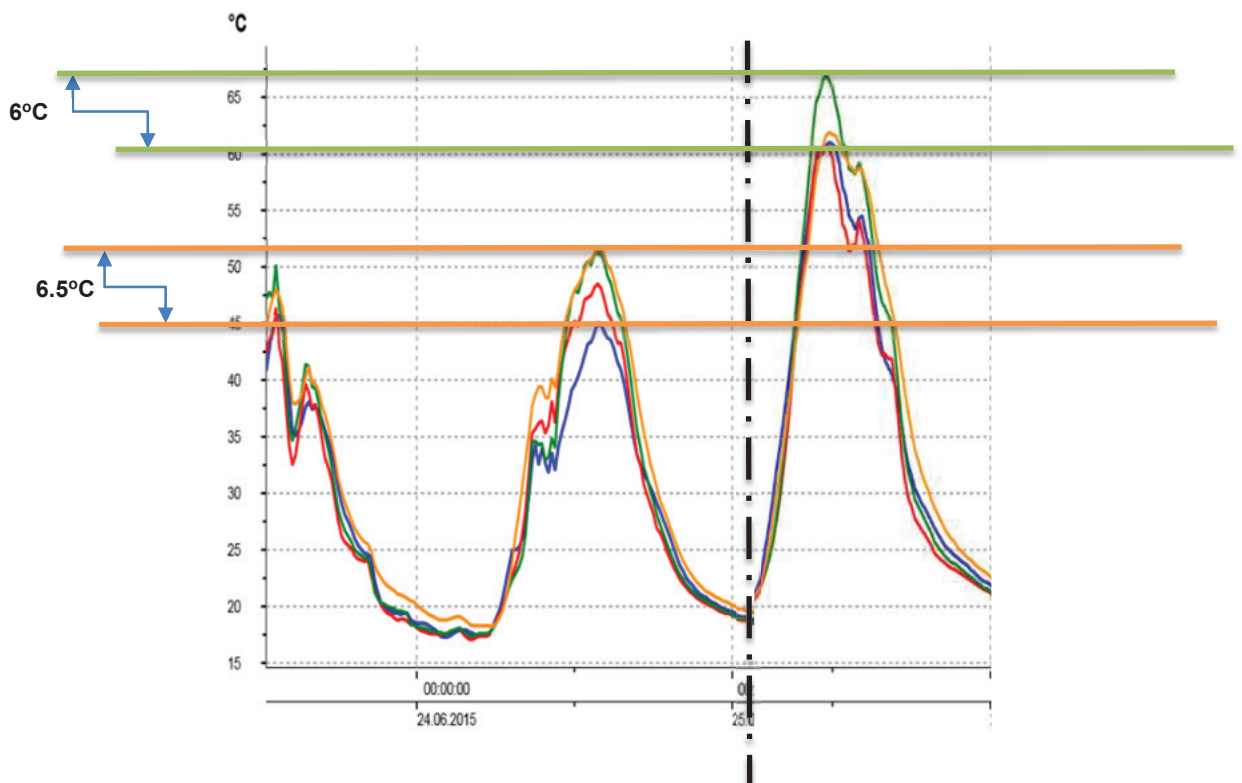
1. Cada día existen picos de temperaturas, tanto a altas, como bajas temperatura, lo que llamamos una fluctuación diaria del gráfico.
2. Estas picos comprenden la hora más caliente y la más fría a través de un día de 24 horas.
3. Podemos tener 24 horas entre dos picos, aproximadamente.
4. Hay 4 canales tomando temperaturas, a modo general notamos que todos los materiales tienen un comportamiento similar, con una pequeña diferencia en la altura alcanzada por los picos de temperatura entre uno y otro.
5. Gráficamente no podemos inferir cual se calienta menos, ya que por ejemplo el Canal 1 (curva de color azul) en el primer pico que se muestra completo en la gráfica es el que menos se calienta, pero sin embargo en el último pico que se muestra el rojo se calienta menos.
6. El recorrido de todas las curvas es parecido, existiendo unos pocos grados de temperatura de diferencia entre unos y otros, pero influyentes de todas maneras.

7. Todos los canales aumentan proporcionalmente sus picos, su aumenta la temperatura en el que más se calienta, también aumenta de manera proporcional en el que menos.

**Conclusiones de estas observaciones:**

1. El que promedió temperaturas más frescas estos días fue el color violeta.
2. El que promedió la temperatura más caliente estos días fue el Canal 4, el color verde.
3. Los promedios de todos los materiales se mantuvieron muy cercanos entre sí, la única diferencia muy notable es el pico máximo alcanzado por el canal 3, que fue 6 grados mayor que el próximo más cercano.

**Conclusión Grafica:**



Gráfica 10. Se muestra un análisis grafico de 3 días a partir del solsticio.

- Suponiendo que el aumento de los picos de temperatura se produjeron debido al aumento de la radiación solar o al aumento de la temperatura ambiente, cualquiera que sea su causa, que luego investigaremos, esto produjo un aumento de la temperatura en la cara inferior del material.
- Este aumento fue similar en proporción para todos los canales.
- En el canal 1 en la primera curva estudiada en la gráfica fue el que menos se calentó pero en la segunda curva estudiada fue el segundo que menos se calentó.
- Gráficamente podemos estimar que la diferencia de temperatura entre el que menos se caliente y el que más en un pico determinado se mantiene más o menos proporcional en cada día, de unos 6°C a 6.5°C.
- También se puede observar que el pico del canal 3 fue mayor en el segundo día estudiado, separándose de las demás curvas.
- 

Para finalizar, surgen preguntas que trataremos de contestar:

1. ¿Por qué cuando analizamos los 3 meses el color que promedió temperaturas más bajas fue el Gris/Aluminio, sin embargo cuando nos enfocamos en el solsticio fue el Violeta?
2. ¿Por qué en las conclusiones graficas observamos como la curva del canal 1 y del canal 2 se intercambian los puestos en el que menos temperatura alcanza en el momento más caluroso del día?

### 5.3.4 Techo 3 (Materiales Convencionales de Cubierta)

En sub capítulo, analizaremos el Techo 1, con los materiales convencionales de cubierta, desde el día 23 de Junio hasta el día 28 de Junio. Partiremos desde el día del solsticio de verano, y le agregaremos unos días más para poder analizar el recorrido de la temperatura en las gráficas a través de unos días. Esto facilitará el análisis del comportamiento, ya que en la tabla de todos los datos completos, se dificulta su lectura por la extensión de días que se representan. Debido a que estos materiales solo serán punto de referencia para comparar, no entraremos en un análisis de su comportamiento térmico.

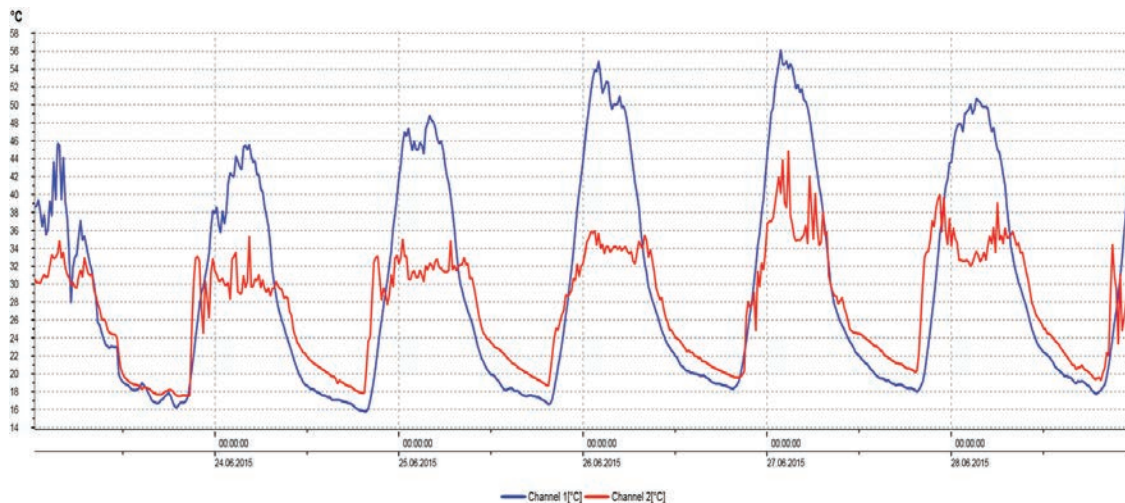
El programa de TESTO, para descargar los datos de temperatura obtenidos, nos ofrece un reporte y una gráfica preliminar que son las siguientes para estos días alrededor del solsticio:

Instrument name: Caixa 2			30-08-15 19:55		
Start time: 23/6/2015 12:30:00 AM		Minimum		Maximum	Mean value
End time: 28/6/2015 11:45:00 PM	Channel 1 [°C]	15.8		56.2	29.846
Measurement channels: 2	Channel 2 [°C]	17.5		44.9	27.47
Measured values: 574					
SN 40705703					

De esta tabla podemos sacar las siguientes afirmaciones:

1. **El canal 1, que es la rasilla, alcanzo la temperatura más alta.**
2. **El canal 2, que es la grava blanca, fue el que obtuvo una temperatura máxima menor.**
3. **El canal 1, fue el obtuvo una temperatura mínima más baja.**
4. **El canal 2 obtuvo un promedio de temperatura menor.**

Nota: todas las afirmaciones coinciden con las afirmaciones realizadas en el subcapítulo 5.2.4 Techo 1 (Materiales convencionales de Cubierta).



Gráfica 11. Se muestra la gráfica del techo 1 del solsticio y el aumento en la diferencia de los picos en las curvas del canal 2 con respecto a los demás canales. Ver Anexo GRÁFICOS TECHOS 1 SOLSTICIO.

Podemos observar de la gráfica a rasgos generales lo siguiente:

1. Cada día existen picos de temperaturas, tanto a altas, como bajas temperatura, lo que llamamos una fluctuación diaria del gráfico.
2. Estas picos comprenden la hora más caliente y la más fría a través de un día de 24 horas.
3. Podemos tener 24 horas entre dos picos, aproximadamente.
4. Hay 2 canales tomando temperaturas, a modo general se ve que los dos canales utilizados en este techo se comportan de manera similar, haciendo sus picos en altas y bajas temperaturas, pero el canal 2 de color rojo, acorta su recorrido un poco más arriba de la mitad del recorrido del azul. Nota: este techo fue colocado a partir del 23 de Junio, cuando por sugerencia del asesor fue puesto en marcha.
5. Podemos inferir de primera impresión que los dos canales se comportan de manera muy diferente térmicamente hablando.

**Conclusiones de estas observaciones:**

1. El que promedió temperaturas más frescas estos días fue el canal 2, la grava blanca.
2. El que promedió la temperatura más caliente fue el Canal 1, la rasilla.
3. La rasilla alcanzó la temperatura máxima y mínima, pero en promedio fue menor la grava blanca.

## **5.4 Triturado equivalencia Granulométrica**

### **5.4.1 Introducción**

Cada 15 días aproximadamente se recolectaban datos, y al ver el comportamiento de un material específico era mucho mejor térmicamente hablando, el topacio, que se obtiene del reciclaje de botellas de cerveza, y al momento de su obtención estaba triturado por el transporte, aún no había sido tratado en la planta de tratamiento, por lo cual las piezas que conformaban las partes del vidrio, eran relativamente más grande que los demás materiales, por lo cual surgió la pregunta ¿Qué pasaría si igualamos este material, por medio de un triturado informal, a otro material de los que tenemos en la prueba, y ver si se mantiene la diferencia abismal en el comportamiento térmico? Por lo que procedimos a triturarlo y asemejarlo lo más posible a su más cercano competidor, el vidrio doméstico, que ya había pasado por una primera parte del proceso de reciclaje, por lo cual se encuentra más triturado que el topacio que obtuvimos. Por lo que el análisis se divide en dos, antes y después del triturado.





Figura 31. Imágenes que muestran los materiales antes de ser triturados y asemejados en cuanto al tamaño granulométrico.





Figura 32. Imágenes que muestran los materiales luego de ser triturados y asemejados en cuanto al tamaño granulométrico.

## 5.4.2 Comparando los Datos

Los datos antes del triturado son los siguientes:

Instrument name: Caixa 1 01989517			31-08-15 9:11		
Start time: 05/6/15 5:15:00 PM		Minimum		Maximum	Mean value
End time: 10/7/15 11:30:00 AM	Channel 1 [°C]	13.9		66.6	31.899
Measurement channels: 4	Channel 2 [°C]	14.4		49.6	26.749
Measured values: 3338	Channel 3 [°C]	14.8		64.4	31.853
C1: SN 01989517 / 012	Channel 4 [°C]	14.6		71.3	33.741

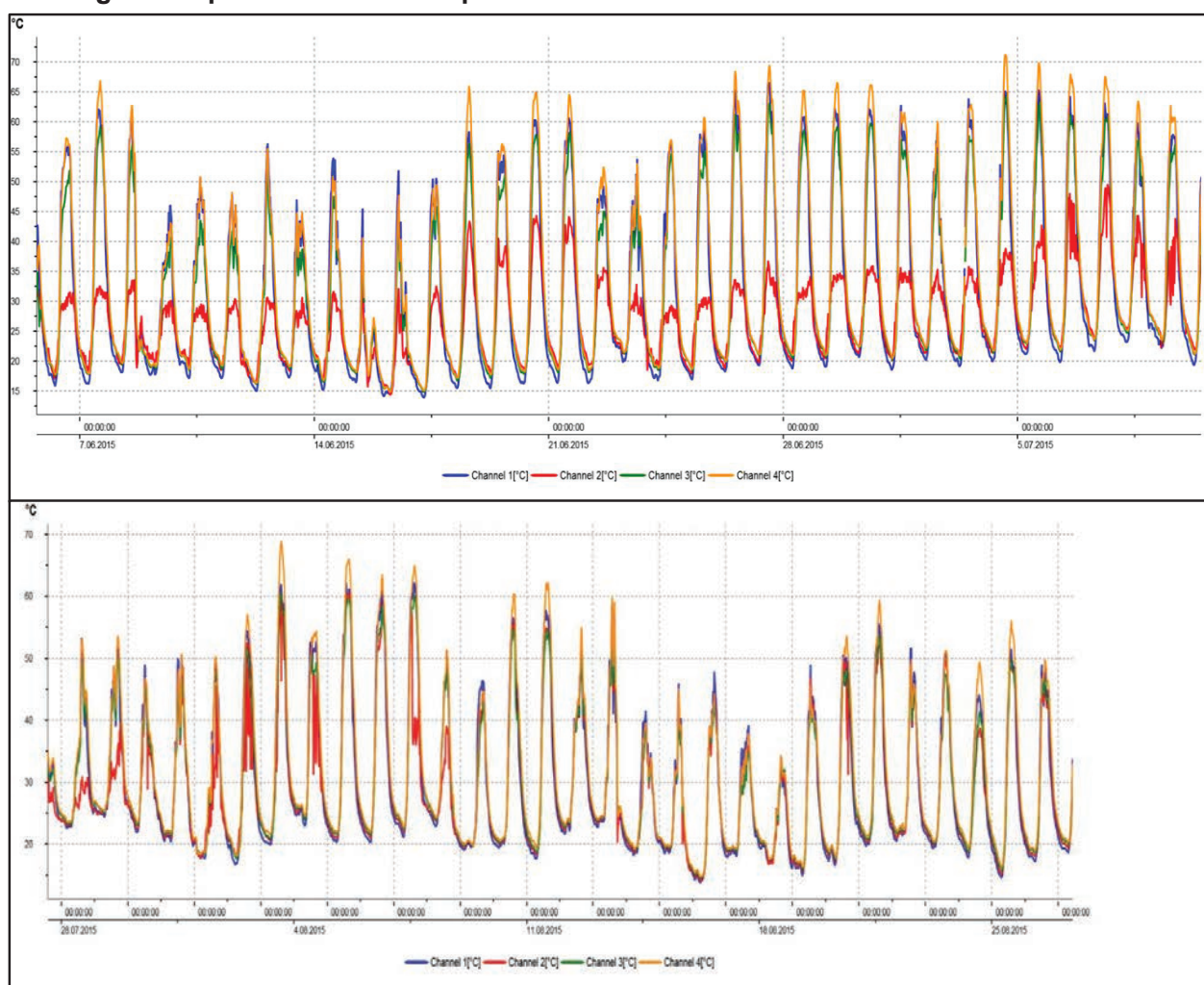
Y Los datos luego del triturado son los siguientes:

Instrument name: Caixa 1 01989517			30-08-15 19:46		
Start time: 27/7/2015 2:15:00 PM		Minimum		Maximum	Mean value
End time: 27/8/2015 10:30:00 AM	Channel 1 [°C]	13.9		62.2	29.444
Measurement channels: 4	Channel 2 [°C]	14.1		60.5	28.588
Measured values: 2962	Channel 3 [°C]	14.5		60.5	29.62
C1: SN 01989517 / 012	Channel 4 [°C]	14.7		68.9	30.963

**De aquí podemos sacar las siguientes conclusiones tomando en cuenta que los canales a comprar son el 2 y el 3, siendo el 3 el que fue triturado:**

1. El topacio (canal 2) promedió más temperatura luego de haber sido triturado.
2. El topacio alcanzó una temperatura menor luego de ser triturado, aunque la diferencia no es importante (14.4°C frente a 14.1°C)
3. El topacio alcanzó una temperatura máxima mayor luego de ser triturado, siendo un aumento considerable (De 49.6°C a 60.5°C).
4. El topacio y el vidrio domestico luego del triturado del topacio, tienen un comportamiento más parecido entre sí.

De las gráficas podemos concluir que:



Gráfica 12 y 13. Graficas del antes y después del triturado del topacio. Se observa una variación notable en la curva roja.  
[Para observar más detalladamente la gráfica ir a:  
Anexos/GraficosyReporte/GRAFICOANTESDETRITURARTECHO1GRAFICOTRITURADOCOMPARATIVECHO1]

1. La curva roja, perteneciente al topacio, en la primera gráfica realiza el acortamiento del recorrido ya mencionado aproximadamente a la mitad del recorrido de los demás canales, pero en la segunda gráfica la curva roja se pierde, por lo que se acerca al recorrido de las demás gráficas.

Por lo que a partir de aquí surge la siguiente pregunta:

¿Por qué al ser triturado el topacio su comportamiento se asemeja al de los demás materiales?

## 5.5 Acercamiento a la Curva

### 5.5.1 Introducción

Para poder estudiar mejor el comportamiento de la curva que realizan los materiales estudiados, haremos una aproximación al gráfico, trazando unos límites de un día completo para estudiar su comportamiento. El día elegido será el día que en el techo en general se alcanzó la mayor temperatura registrada por los cuatro materiales. Por lo que para el techo 1 elegiremos el día que alguno de sus materiales alcanzó su pico máximo, sin importar cual material fuera de los 4, pero como este techo el análisis se dividió en dos partes, elegiremos un día de temperatura máxima antes del triturado y otro después. Para el techo 2 elegiremos un día de temperatura máxima de los 3 meses estudiados y para el techo 3 elegiremos un día máximo por igual.

Por lo tanto los días elegidos serán los siguientes:

Techo 1 antes de triturar

Instrument name: Caixa 1 01989517			30-08-15 20:24		
Start time: 26/6/2015 8:00:00 PM		Minimum		Maximum	Mean value
End time: 28/6/2015 8:00:00 AM	Channel 1 [°C]	18.7		66.6	31.017
Measurement channels: 4	Channel 2 [°C]	19.7		37	25.834
Measured values: 145	Channel 3 [°C]	20.5		63.1	31.798
C1: SN 01989517 / 012	Channel 4 [°C]	20.9		69.5	33.088

Techo 1 luego de triturar

Instrument name: Caixa 1 01989517			31-08-15 9:27		
Start time: 02/8/15 8:00:00 PM		Minimum		Maximum	Mean value
End time: 04/8/15 8:00:00 AM	Channel 1 [°C]	19.9		61.9	30.958
Measurement channels: 4	Channel 2 [°C]	20.5		60.2	30.643
Measured values: 145	Channel 3 [°C]	20.9		60.5	31.545
C1: SN 01989517 / 012	Channel 4 [°C]	21.6		68.9	33.619

## Techo 2

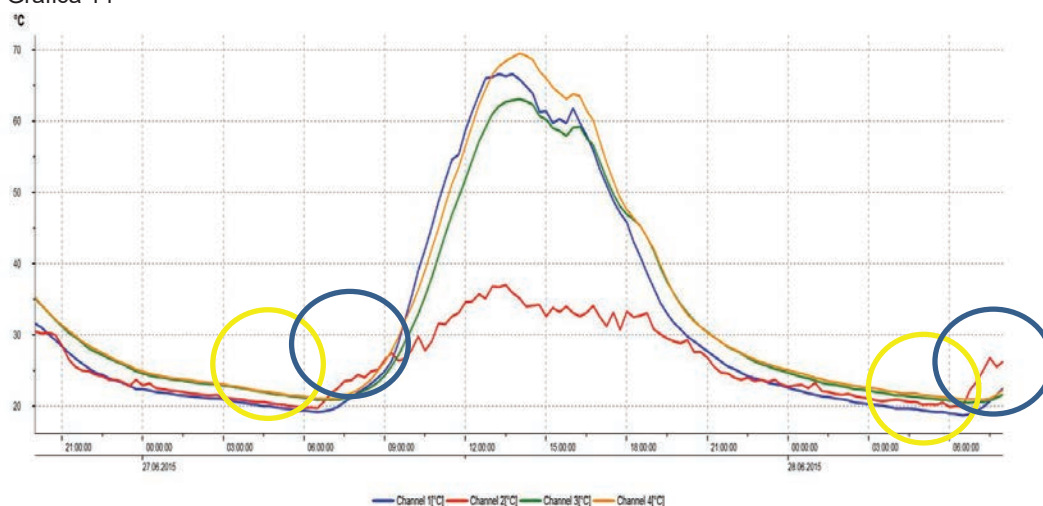
Instrument name: Caixa 0 01989454			30-08-15 20:31		
Start time: 8/2/2015 8:00:00 PM		Minimum		Maximum	Mean value
End time: 8/4/2015 8:00:00 AM	Channel 1 [°C]	20.6		61.2	31.148
Measurement channels: 4	Channel 2 [°C]	20.3		60.7	30.42
Measured values: 145	Channel 3 [°C]	20.5		62.5	31.163
C1: SN 01989454 / 012	Channel 4 [°C]	20.6		56.7	30.394

## Techo 3

Instrument name: Caixa 2			30-08-15 20:33		
Start time: 3/7/2015 8:00:00 PM		Minimum		Maximum	Mean value
End time: 5/7/2015 8:00:00 AM	Channel 1 [°C]	18.9		57.3	36.255
Measurement channels: 2	Channel 2 [°C]	19.7		47.7	32.544
Measured values: 145					
SN 40705703					

## 5.5.2 Observación Gráfica día máxima temperatura antes de triturado comparativo techo 1

Gráfica 14



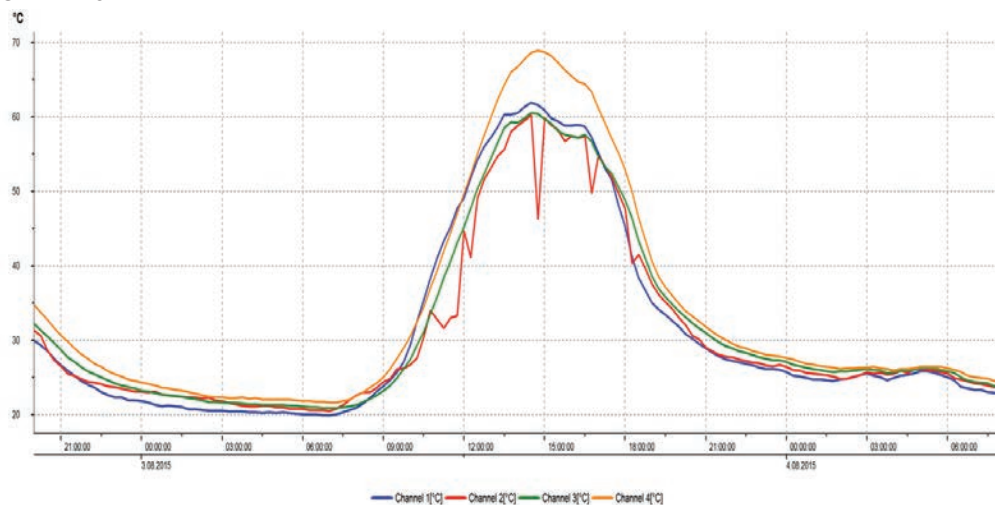
De esta gráfica podemos observar en los puntos encerrados, como a pesar de que la curva del topacio hace un recorrido distinto, traduciéndose este recorrido como una menor temperatura alcanzada, al llega un punto donde se cruza con el vidrio decorativo mezclado (canal 1), y este desciende más que el topacio a pesar de que la diferencia no es importante. También en los círculos azules podemos ver un salto de arranque que da

el Topacio, esto puede ser por el color oscuro del material, ya que es de lo que mas rápido absorbe la radiación solar.

**Pregunta: ¿A qué se debe que el topacio es el que menos se caliente, pero no el que más se enfríe viéndose superado por el vidrio decorativo de IKEA?**

### 5.5.3 Observación Grafica día máxima temperatura luego de triturados techo 1

Gráfica 15

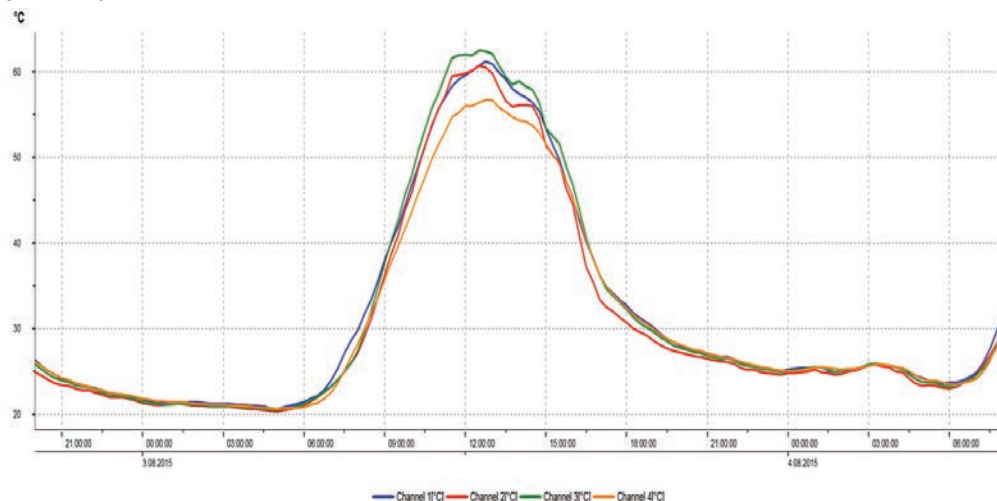


Aquí podemos observar como varió el comportamiento del topacio (canal 2). En esta gráfica se muestra el topacio ya triturado, notándose un comportamiento muy similar con el canal 3. También es notable que en su descenso el comportamiento fue el mismo que antes de triturarse, no es el que más se enfría al caer la noche.

**Pregunta: ¿Por qué varió el comportamiento del topacio al variar la granulometría de este? ¿Por qué aún mantiene la característica de no ser el que más se enfría?**

### 5.5.4 Observación Grafica día máxima temperatura Vidrios Decorativos por Color IKEA techo 2

Gráfica 16



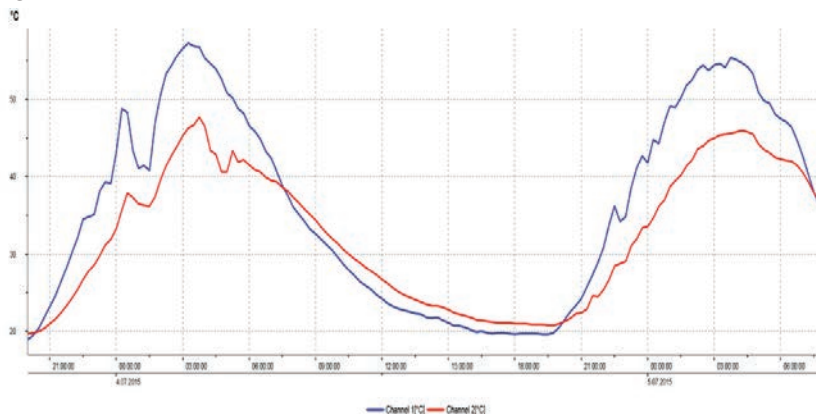
De aquí es muy notorio un detalle, las curvas llevan un recorrido muy parecido a pesar de que algunas alcanzan menores temperaturas que otros, el trazado es muy similar entre todos, llegándose casi a unificar en la parte más fría de la gráfica.

**Pregunta:** ¿Por qué en este caso existe una pequeña diferencia de temperatura, pero el comportamiento de los materiales térmicamente es tan similar?

¿Por qué en la parte más fría de la gráfica los cuatro trazados llegan casi a unificarse?

### 5.5.5 Observación Grafica día máxima temperatura Materiales Convencionales de Cubierta techo 3

Gráfica 17





De esta gráfica no realizaremos ningún análisis, solo la utilizaremos en caso de cruzar los datos con los otros materiales y así podremos comparar las curvas de los distintos materiales.

## 5.6 Preguntas a Analizar

### 5.6.1 Introducción

De los gráficos base que hemos analizados en los puntos anteriores, han surgido distintas preguntas, que hemos de dar respuestas haciendo más gráficas. Fusionaremos datos de los dataloggers, con los datos obtenidos de la base la estación meteorológica de METEOCAT, para intentar descubrir cuál es el aspecto meteorológico que más afecta el comportamiento de los vidrios, y así obtener unas conclusiones sobre los aspectos y características que si varían influyen más en el comportamiento térmico de los mismos.

### 5.6.2 Preguntas

- 1) ¿Por qué es el topacio el material que mejor comportamiento térmico tiene, para considerarlo como “cool roof”?
- 2) ¿Por qué cuando analizamos los materiales del techo 1 durante varios días alrededor del solsticio, hay días en que los demás materiales aumentan su temperatura considerablemente, pero el topacio la aumenta mínimamente? ¿A qué se debe la diferencia en la proporción aumentada entre un material y otro?
- 3) ¿A qué se debe que el topacio es el que menos se caliente, pero no el que más se enfríe viéndose superado por el vidrio decorativo de IKEA?
- 4) ¿Por qué al ser triturado el topacio su comportamiento se asemeja al de los demás materiales?
- 5) ¿Por qué aún mantiene la característica de no ser el que más se enfría luego de ser triturado?
- 6) ¿Por qué cuando analizamos los 3 meses (techo 2) el color que promedió temperaturas más bajas fue el Gris/Aluminio, sin embargo cuando nos enfocamos en el solsticio fue el Violeta?
- 7) ¿Por qué en las conclusiones graficas (techo 1) observamos como la curva del canal 1 y del canal 2 se intercambian los puestos en el que menos temperatura alcanza en el momento frío del día?



- 8) ¿Por qué en este caso (Techo 2, análisis de 1 día) existe una pequeña diferencia de temperatura, pero el comportamiento de los materiales térmicamente (la curva) es tan similar?
- 9) ¿Por qué en la parte más fría (Techo 2, análisis de 1 día) de la gráfica los cuatro trazados llegan casi a unificarse?
- 10) ¿Cuál es material que mejor se comporta solo en horas que hay luz solar?
- 11) ¿Cuál es el que mejor se comporta cuando hay mayor cantidad de viento?
- 12) ¿Cuál es la diferencia existente en el comportamiento térmico de los materiales escogidos y los materiales que se usan convencionalmente en las cubiertas?
- 13) ¿Cuál es el material ideal para desarrollar un “cool roof” con vidrios provenientes del reciclaje?

### 5.6.3 Buscando Respuestas

Cada una de estas preguntas intentarán de ser respondidas a partir del estudio de gráficos y datos, que crearemos mezclando datos de distintos tipos y así intentar descubrir cuáles son los factores que más influyen en el comportamiento de los materiales que estudiamos.

Antes de comenzar a dar respuestas a las preguntas, es importante detallar las condiciones que no encontramos para cada material.

Cada material se encuentra en igualdad de condiciones respecto a:

- El mismo clima.
- La misma orientación.
- El mismo espesor de material (aproximadamente 5 centímetros).
- Todos se encuentran en un fondo negro.
- Todos serán comparados en igualdad de condiciones.
- Todos están en el mismo tipo de recipiente.
- Todas las temperaturas han sido tomadas con el mismo tipo de datalogger.
- Todos permanecieron el mismo tiempo, con excepción de los materiales convencionales de cubierta, que se colocaron dos semanas después de iniciado los dos techos anteriores, pero serán estudiados los días que permanecieron todos juntos.

En general, las condiciones en las cuales se encuentran los materiales son similares, es decir, que el factor influyente para su diferencia de comportamiento, es propiamente de las características del material.

#### **5.6.4 Análisis grafico de las Preguntas**

**¿Por qué es el topacio el material que mejor comportamiento térmico tiene, para considerarlo como “cool roof”?**

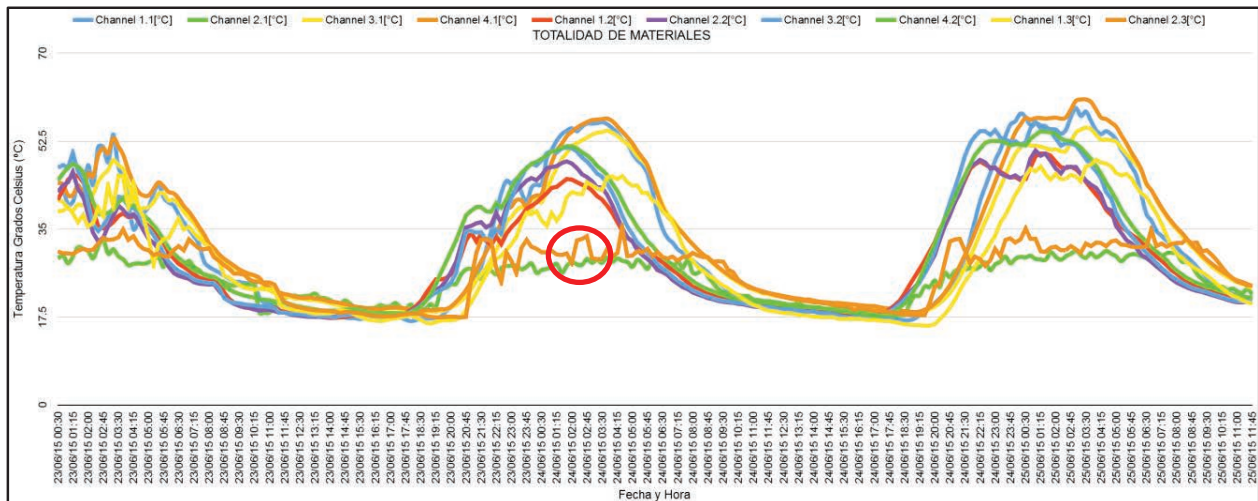
Para realizar este primer análisis, haremos una sumatoria tanto tabulada, como grafica de todos los materiales, para comenzar por confirmar que el topacio es el material que menos se calentó durante la primera fase del experimento en el cual coincidieron todos los materiales, antes del triturado.

Nota: los días que las sondas fallaron en algunos canales, serán eliminados, porque alteraría el resultado final.

Para poder estudiar con calidad la gráfica, elegimos el día más caliente registrado en todos los techos, y tomamos ese día, y un día antes y otro después, para poder hacer un análisis del comportamiento variable de la gráfica en un rango de 3 días y elegimos el día más frío reportado en todos los techos y aplicamos la misma fórmula. Debido a que los dataloggers por motivos de ambientales varias veces se soltaron, tomamos un dato que nos pareció confiable como uno de los más fríos. (Ver Anexo: TABLA SUMATORIA DE GRADOS POR MATERIAL)

- El día más caliente fue registrado el 4 de Julio a las 15:00, fue de 71.3°C por el canal 4 del techo 1. Pero estos días notamos un error en un canal, así que preferimos hacerlo desde el solsticio hasta el 25 de Junio.
- El día elegido fue 26 de Junio a las 6:00 fue registrado una temperatura de 16.7°C por el canal 1 del techo 1.

Una gráfica para el analizar los momentos calientes de todos los materiales es la siguiente antes del triturado del topacio:

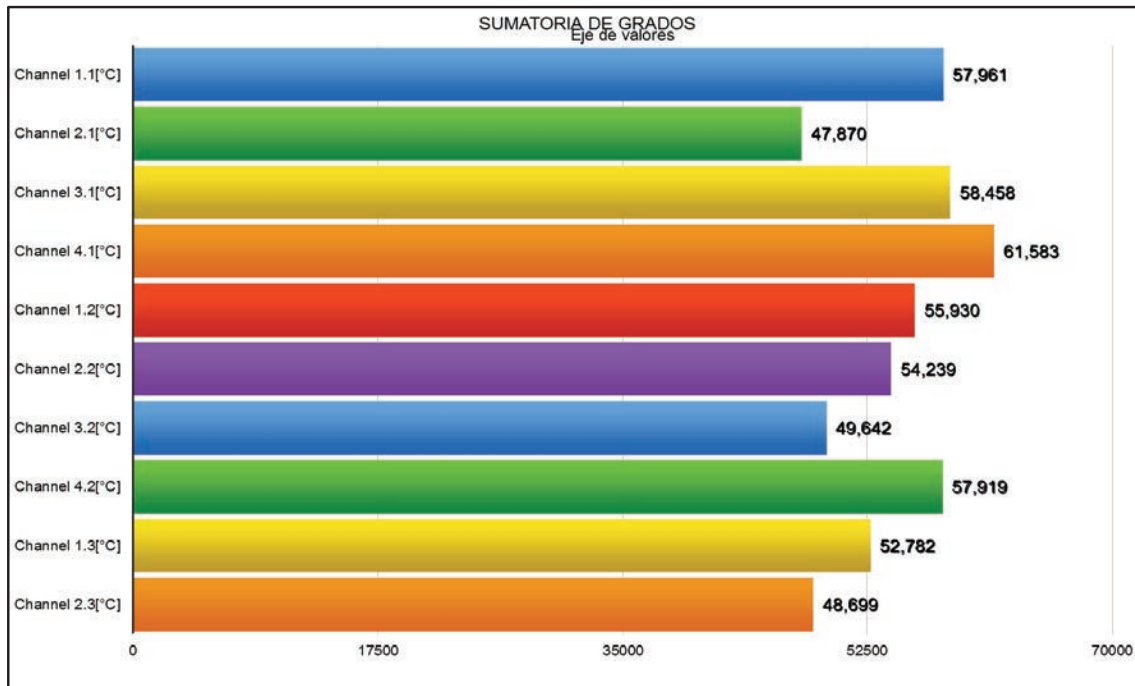


Gráfica 18

De aquí podemos observar:

- Hay dos materiales (encerrados en el círculo rojo) que son los que acortan más la curva, no teniendo picos tan elevados de temperatura.
- Estos dos materiales son: el topacio (línea verde) y la grava blanca (línea marrón).
- De ahí viene un tercer lugar, que es la línea amarilla, que es la rasilla, lo que nos hace estudiar la sumatoria total de grados Celsius de todos los materiales, y así determinar el lugar que ocupa cada uno.

Por lo que un gráfico resultante de las sumatorias de todos los grados acumulados por todos los materiales antes del triturado, tomando específicamente días en los cuales estaban en el funcionamiento correcto de todos los materiales (desde el 23 de Junio al 10 de Julio) sería:



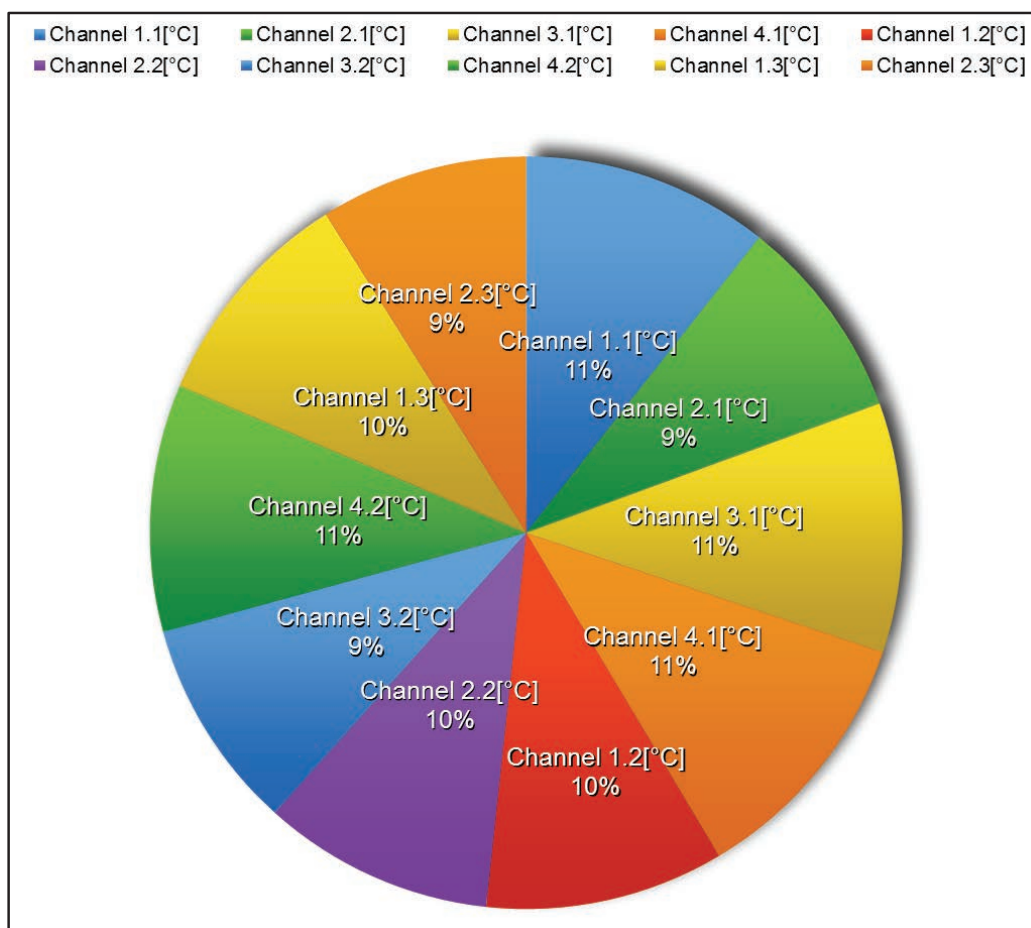
Gráfica 19

De aquí podemos observar:

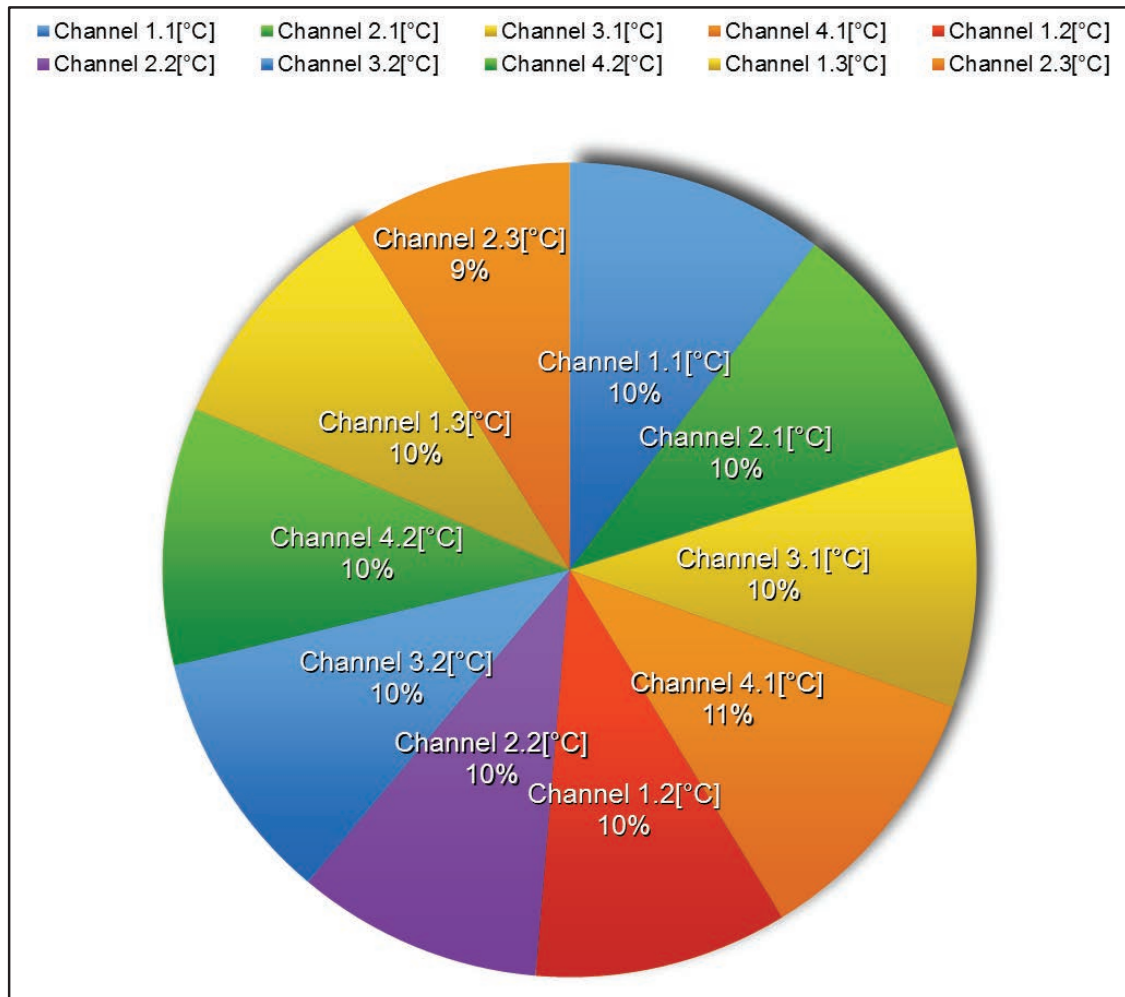
- El topacio es el material que menos grados acumula, pero existen otros muy cercanos.
- El orden de menos grados acumulados a mas grados es el siguiente:
  1. Canal 2, Techo 1: Topacio
  2. Canal 2, Techo 3: Grava Blanca
  3. Canal 3, Techo 2: Vidrio Decorativo Gris/Aluminio (IKEA)
  4. Canal 1, Techo 3: Rasilla
  5. Canal 2, Techo 2: Vidrio Decorativo Violeta (IKEA)
  6. Canal 1, Techo 2: Vidrio Decorativo Negro(IKEA)
  7. Canal 4, Techo 2: Vidrio Decorativo Verde(IKEA)
  8. Canal 1, Techo 1: Mezcla de Vidrio Decorativo. (IKEA Vidrio Blanco Plano
  9. Canal 3, Techo 1: Vidrio Domestico
  10. Canal 4, Techo 1: Vidrio Blanco Plano

Por lo que tenemos como el “mejor” material al topacio, y más cercano competidor el vidrio decorativo Gris/Aluminio. La grava blanca de los materiales convencionales es el segundo, pero como es un punto de referencia, no será considerado como tal.

En el próximo paso, pondremos a prueba durante 3 días los materiales, para luego hacer una segunda gráfica, sustituyendo el topacio normal, por el topacio triturado. Aunque las fechas en las cuales fueron estudiados son diferentes, intentaremos utilizar la misma cantidad de días acumulando calor, y ver en una gráfica si la diferencia entre uno y otro aumenta o disminuye, así veremos si triturándolo el material mejor o empeora. Utilizaremos el total acumulado de calor en grados Celsius de los 3 techos sumados divididos en dos etapas, antes y después de triturar, durante la misma cantidad de días, y calcularemos el porcentaje de calor que representa cada material y así veremos cómo varía el topacio al triturarse. (VER ANEXO: TABLA ESTUDIO GRANULOMETRICO %)



Gráfica 20. Porcentaje antes de triturar el topacio.



Gráfica 21. Porcentaje después de triturar el topacio.

**De aquí podemos concluir que:**

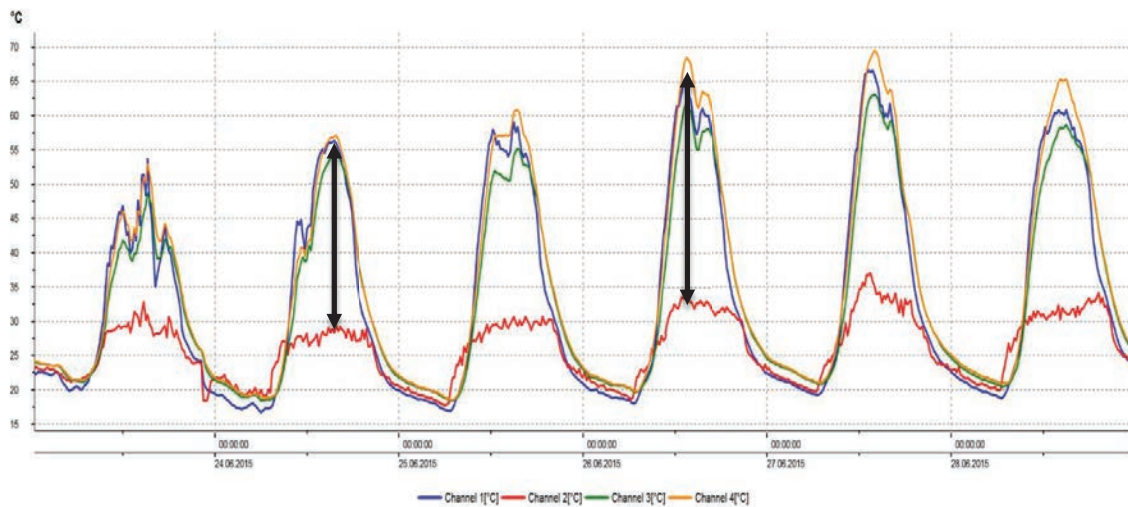
- El canal 2, del techo 1, el topacio, aumentó del 9% al 10% la cantidad total acumulada de calor respecto al total de todos los materiales.
- De la graficas analizadas en el apartado 5.4.2 Comparando los Datos, vemos como las curvas son asemejadas luego de triturarse el topacio.
- El topacio, a mayor triturado, “peor” es su comportamiento térmico con respecto al calor.



Por último, cruzaremos los datos meteorológicos de viento e irradiancia, para así poder determinar, cual factor es el más influyente en la variante del comportamiento de los materiales analizados.

Partiendo de la gráfica analizada en el apartado 5.4.2 Techo 1:

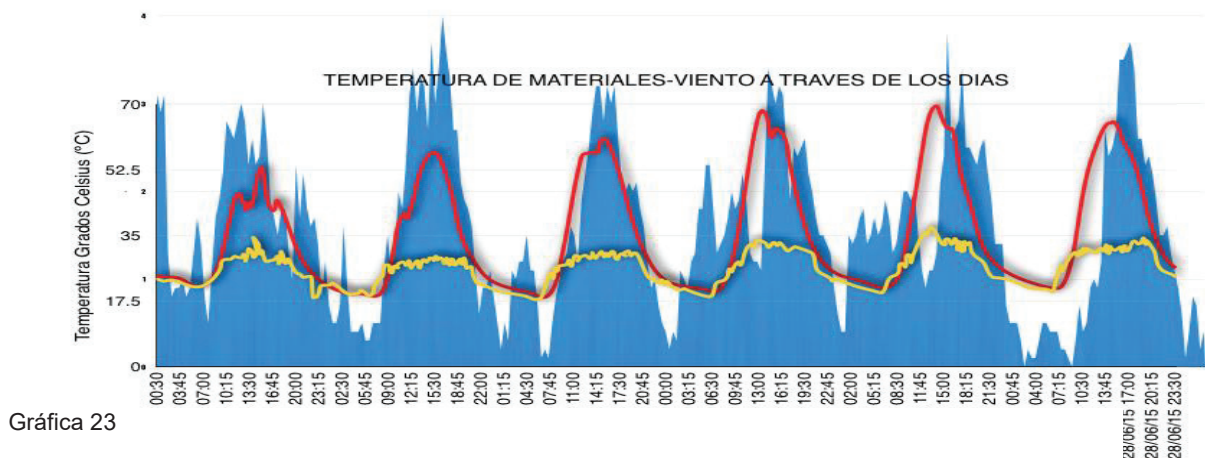
Gráfica 22



De aquí surge la pregunta:

¿Mejora su comportamiento el topacio frente al aumento del viento o de la irradiancia, frente a los otros materiales?

Utilizaremos estos mismos días, el topacio, y el canal 4 de la gráfica, ya que fue el que mayor diferencia obtuvo frente al canal 2.



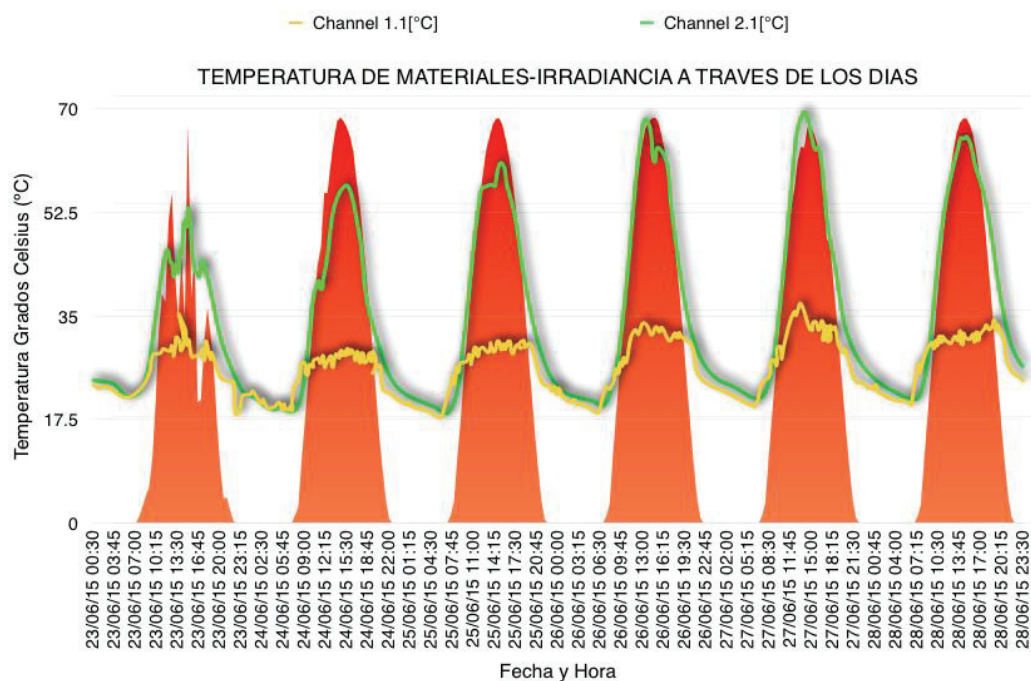
Gráfica 23



De aquí podemos concluir que:

- El viento no aparenta ser el factor más influyente, pero si hacemos un “zoom” podemos notar algunos puntos en los cuales las curvas varían su comportamiento mínimamente cuando el viento aumenta (ver los picos de viento y observar las pequeñas variaciones de temperatura del material).
- De aquí suponemos que el factor más influyente es la irradiancia solar.

El siguiente gráfico muestra el comportamiento de los mismos materiales que estudiamos en el punto anterior pero en este caso comparándolo con la irradiancia solar:



Gráfica 24

De aquí podemos concluir que el factor irradiancia solar, es el que mejor enfrenta el topacio, ya que cuando aumenta considerablemente el material se sigue comportando aproximadamente por la misma altura de temperatura.

## 5.7 Conclusiones del Análisis

De este estudio hemos concluido que existen dos factores principales para que un material como el cristal tenga un rendimiento y otro en una cubierta plana que son:

1. La granulometría ya que:

- Al disminuir el tamaño de las partículas trituradas, aumenta la temperatura, debido a que se disminuye la masa, esto hace cada partícula se caliente más rápido.
- Se disminuyen las cámaras de aire y se restringe el paso del viento, por lo que se disminuye el factor aireación.
- Los vidrios que se componían de partículas más pequeñas, fueron lo que alcanzaron menor temperatura en las noches, ya que su pequeña masa les permitía liberarla muy fácil, pero también alcanzaron picos más altos.

2. El color ya que:

- El topacio es el vidrio que proviene de las botellas de cerveza, las cuales han sido fabricadas específicamente con un color opaco, para no permitir el paso de la luz, ya que esto afecta la calidad de la bebida. Este material fue el que mejor rendimiento presentó.

A pesar de esto, el color negro del cristal decorativo de IKEA no fue el que peor rendimiento presentó, esto justifica los materiales que estudiamos en el estado del arte, sobre los materiales reflectivos de cubierta de colores opacos.

A pesar de que serían necesario hacer más pruebas de campo con más materiales, y granulometrías distintas, podemos afirmar de este trabajo, que:

- 1) Mientras menos pase la luz por el cristal, debido a su composición de colores.
- 2) Mientras más reflectivo sea el vidrio.
- 3) Mientras más grandes y curvadas sean las partículas del vidrio, permitiendo el paso del viento a través de estas.

Obtendremos una cubierta con menos temperatura acumulada a través del día en lugares y épocas donde la radiación solar sea un factor muy incidente sobre estas.

## 6. Bibliografía

- Alejandro Mata, C. G. (s.f.). *Conocimiento del proceso de reciclaje de envases de vidrio; propuestas de mejora del proceso actual y análisis costo-beneficio de la implantación del mismo en la planta Vidriera Guadalajara*. Universidad Autónoma de Guadalajara.
- Artículo 45. (1978). *De los derechos y deberes fundamentales. Capítulo tercero. De los principios rectores de la política social y económica*. España.
- BASF. (n.d.). Cool black magic.
- Bryan Urban and Kurt Roth, P. (2010). Guidelines for Selecting Cool Roofs. Retrieved Julio 2015
- Ecovidrio. (2014). *Informe de Sostenibilidad*.
- El Mundo, Efe. (2009, Mayo 27). Pintar los edificios de blanco, solución barata contra el cambio climático. Retrieved Junio 15, 2015
- Fasullo, K. E. (2011). *Tracking Earth's Energy: From El Niño*.
- Graus, R. (2005). La cubierta plana, un paseo por la historia. Recuperado el 25 de Junio de 2015
- Hoff, J. L. (2005, May). The economics of cool roofing: a local and regional approach. Retrieved Abril 2015
- <http://coolroofs.org/resources/leed>. (n.d.).
- [http://www.ecovidrio.es/estadisticas\\_espana.aspx](http://www.ecovidrio.es/estadisticas_espana.aspx). (n.d.).
- <http://www.grupodti.com/index.php/eficiencia-energetica-y-proteccion-solar.html>. (n.d.).
- [https://www.energystar.gov/index.cfm?c=roof\\_prods.pr\\_roof\\_emissivity](https://www.energystar.gov/index.cfm?c=roof_prods.pr_roof_emissivity). (n.d.).
- ICOPAL. (n.d.). Cool Paint - pintura radiante para cubiertas.
- Liu, K. K. (2005, Septiembre). Towards sustainable roofing. Retrieved Mayo 2015
- Marino, M. d. (2010). *Inventario Español de Gases de Efecto Invernadero*. Madrid. Retrieved Junio 5, 2015
- Muntané, O. (2012). *ESPILL: "re-ROOFING the CITIES": PREVENIR EL CANVI CLIMÀTIC*.

RILEM/CIB. (2001). *Towards sustainable roofing*. Retrieved Junio 29, 2015

Ugarte, J. (n.d.). GUIA BIOCLIMATICA CONSTRUIR CON EL CLIMA.

## **7. Anexos**







## ANNEX 8: GLOSSARI

**ACS:** Aigua Calenta Sanitària

**ASTM:** American Society for Testing Materials. Fundada el 1898, Societat Americana per a l'assaig de materials

**Ch= Channel= canal= sonda.** Es refereix a les tres sondes instal·lades en els diferents mòduls o cel·les que han servit per avaluar solucions de cobertes.

**CRRC: Cool Roof Rating Council.** Associació americana de promoció de cool roof <http://coolroofs.org/>

**Cx= Bx= Caixa:** Cel·la PAUS

**ECRC:** European Cool Roofs Council, fundada l'any 2011 per desenvolupar coneixement, recerca i promoure les cool roof a Europa. <http://coolroofcouncil.eu/about.php>

**Edifici de referència:** Edificio de referencia: edificio obtenido a partir del edificio objeto que se define con su misma forma, tamaño, orientación, zonificación interior, uso de cada espacio, e iguales obstáculos, y unas soluciones constructivas con parámetros característicos iguales a los establecidos en el Apéndice D. <http://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/ahorroEnergia/DBHE.pdf>

**Edifici objecte:** Edificio objeto: edificio tal cual ha sido proyectado en geometría (forma, tamaño y orientación), construcción y condiciones de uso, del que se quiere verificar el cumplimiento de la reglamentación. <http://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/ahorroEnergia/DBHE.pdf>

**ENERGY STAR:** ENERGY STAR is a U.S. Environmental Protection Agency (EPA) programa voluntari que promou l'eficiència energètica a l'edificació per protegir el clima. <https://www.energystar.gov/>

**ESPILL:** Òptica: un espill o Mirall, superfície on es reflecteix una imatge. Amb aquest mot es comença a denominar aquesta investigació sobre cobertes fresques la qual ha derivat amb aquesta tesi doctoral.

**Estrès tèrmic:** envelliment prematur dels materials de construcció degut als constants canvis de dimensió degut a canvis de temperatura.

**GEI:** gasos d'efecte hivernacle

**Grau de Reflexió:** Veure punt 112 “Les propietats físiques bàsiques”

**HULC,:** Herramienta Unificada Líder Calener

**Md=mòdul:** construcció prefabricada. Mòduls ALGECO

**PAUS:** Plataforma per l'Arquitectura i la Sostenibilitat <http://www.upc.edu/sct/ca/servei/52/paus-plataforma-darquitectura-sostenibilitat.html>

**Pigments selectius freds:** aquells que reflecteixen l'infraroig proper

**Règim lliure:** Cel·la en la qual no s'aplica energia per escalfar o refredar

**Rugositat** (coeficient de rugositat Ra)

**SRI:** Solar Reflectance Index. [http://energy.lbl.gov/coolroof/ref\\_01.htm](http://energy.lbl.gov/coolroof/ref_01.htm)

